

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní obory

Mechatronické systémy

Polohování Laserového Snímače

Laser Sensor Positioning

Student:

Robert Hlavica

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Robert Hlavica**
Studijní program: **B3943 Mechatronika**
Studijní obor: **3906R006 Mechatronické systémy**
Téma: **Polohování laserového snímače
Laser Sensor Positioning**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav a hardwarové prostředky zařízení pro polohování laserového snímače umístěného na robotické ruce - model polohovacího zařízení s laserem.
2. Popište jednotlivé prvky polohovacího zařízení, robotickou ruku, výkonovou elektroniku a akční členy.
3. Seznamte se s vývojovým prostředím pro programování mikroprocesorů ATMEL ATMEGA 32X. Popište vlastnosti a strukturu použitého mikroprocesoru.
4. Navrhněte ovládání polohy laserového snímače na bázi mikroprocesoru ATMEL pro definovaný pojezd a pohyb robotické ruky.
5. Proveďte experimentální ověření polohovacích algoritmů na reálném modelu a zhodnoťte dosažené výsledky včetně dalšího směru vývoje v této oblasti.

Seznam doporučené odborné literatury:

HEROUT, P. 2004. Učebnice jazyka C. 4.vyd. České Budějovice: KOPP a.s., 2004. ISBN: 978-80-7232-383-8.
NÁVOD K PROGRAMOVÉMU PROSTŘEDÍ AVR STUDIO 5. [online]. [cit. 2012-09-17] Dostupné z WWW stránek <<http://www.engblaze.com/tutorial-using-avr-studio-5-with-arduino-projects/>>.
MANUÁL K PROCESORU ATMEL ATMEGA8/L. [online]. [cit. 2012-09-17] Dostupné z WWW stránek <<http://www.atmel.com/images/doc2486.pdf>>.
BRIAN W. KERNIGHAN, DENNIS M. RITCHIE. 2006. Programovací jazyk C. Computer Press, a.s. Brno 2006, 286 s. ISBN: 80-251-0897-X.
ATMEGA 324 DATASHEET. [online]. [cit. 2012-09-17] Dostupné z WWW stránek <<http://www.atmel.com/images/doc8011.pdf>>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013

prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Noskiewiç, CSc.
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 7.5.2013

Marek
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 7.6.2013


.....
podpis**Jméno a příjmení autora práce:****Robert Hlavica****Adresa trvalého pobytu autora práce:****Hlubočická 806****Vřesina**



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016 podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost, financovaného ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR.

Děkuji především panu Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D za poskytnuté konzultace při přípravě mé bakalářské práce.

Anotace

HLAVICA, Robert. *Polohování Laserového Snímače*. Ostrava, 2013. *Bakalářská práce*. VŠB-TUO. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Cílem práce je navrhnout řídicí systém pro zařízení na skenování povrchu hutních obrobků. První částí práce je analýza tohoto zařízení jak po stránce struktury, tak především po stránce motorické. Zde jsou popsány jednotlivé motory zabudované v zařízení, které slouží k vykonávání pohybu a principy jejich ovládání. V druhé části je popsán použitý procesor, návrh a blokové schéma řídicího modulu a návrh řídicích algoritmu. Pro tento návrh byly analyticky odvozeny rovnice, pro nastavení jednotlivých akčních členů, podle vstupního bodu a vektoru požadované polohy efektoru.

Klíčová slova: řídicí systém, polohování, krokový motor, servomotor, inverzní úloha

Annotation

HLAVICA, Robert. *Laser Sensor Positioning*. Ostrava, 2013. *Bachelor thesis*. VŠB-TUO. Thesis head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

The aim of thesis is to design the control system for the device to scan the surface of steel workpieces. The first part is the analysis of the device, both in terms of structure, both as mainly from the motor. Here are described individual motors built into the device that is used to perform the motion, and the principles of their operation. The second section describes the used processor, design and block diagram of the control module, and the design of control algorithm. For this proposal has been analytically deduced equations, for setting the individual actuators, according to the input point and vector of the desired position effector.

Keywords: control system, positioning, stepper motor, servo motor, inverse problem

Obsah

Seznam zkratek	9
1 Úvod.....	10
2 Analýza stávajícího hardwaru	11
2.1 Rovinný pojezd	11
2.2 Mechanická ruka	12
2.3 Pracovní prostor	13
3 Akční členy a jejich příslušenství	15
3.1 Krokový motor.....	15
3.1.1 Princip krokového motoru	15
3.1.2 Hybridní krokový motor	17
3.1.3 Mechanické charakteristiky	18
3.1.4 Parametry použitého krokového motoru	20
3.2 Servomotory.....	22
3.2.1 Modelářské servomotory	22
3.2.2 Parametry použitých servomotorů	23
3.3 Výkonová elektronika	24
4 Mikroprocesor	25
4.1 ATmega324p	25
4.1.1 Struktura ATmega324p	26
4.1.2 Přehled parametrů ATmega324p.....	27
5 Návrh a tvorba řídicího systému	28

5.1	Řízení servomotorů	29
5.2	Řízení krokového motoru	29
5.3	Návrh procesorové desky	29
5.4	Sestavení řídicího systému a propojení se zařízením	31
6	Tvorba řídicího softwaru	32
6.1	Řízení krokového motoru	32
6.2	Řízení servomotorů	33
6.3	Blok inverzní úlohy	34
6.3.1	Analytické řešení inverzní úlohy	34
6.4	Komunikace	38
7	Ověření funkčnosti	40
7.1	Požadovaný pohyb pro skenování	40
7.2	Zhodnocení vlastností celého systému	40
8	Závěr	42
	Seznam použité literatury	43
	Seznam Příloh	44

Seznam zkratek

A	-	Ampér
ALU	-	Aritmeticko-logická jednotka
ATmega	-	procesorová řada firmy Atmel
ATmega324p	-	8-bitový procesor firmy Atmel
b		"bit" nejmenší jednotka informace, číslicové technice (log. 1 nebo 0)
DC	-	Stejnoseměrné napětí
EEPROM	-	typ paměti , která uchovává data i po odpojení napájení
Efektor	-	prováděcí člen robotu nebo zařízení, většinou umístěné na konci zařízení
Homing	-	inicializace krokového motoru
I ² C	-	komunikační sběrnice
KM	-	Krokový motor
m	-	metry
MIPS	-	jednotka pro označení výkonů procesoru (milion instrukcí za sekundu)
PWM	-	Pulzní šířková modulace
RISC	-	značení procesoru s redukovanou instrukční sadou
SRAM	-	typ paměti, která neuchovává data po odpojení napájení
SPI	-	komunikační sběrnice
UART	-	Sériové rozhraní
V	-	Volt
Watchdog	-	funkce procesoru ochraňující proti zacyklení

1 Úvod

V laboratoři VŠB-TUO se nachází zařízení pro snímání struktury povrchu hutních výrobků. Jedná se o laboratorní model určený především pro vývoj a testování algoritmů pro detekci povrchových vad. Zařízení je ovšem nedokončené. Hotové je pouze po konstrukční stránce, což znamená, že zařízení je sestaveno a osazeno motory neboli akčními členy. Akční členy jsou však pouze namontovány. Pro dané zařízení neexistuje žádný řídicí systém, a není vyřešen ani způsob napájení jednotlivých akčních členů.

Cílem této práce je proto navrhnout a implementovat řídicí systém pro dané zařízení. Řídicí systém bude řešený na bázi mikroprocesoru, konkrétně mikroprocesoru ATmega324P firmy Atmel. Takovéto řešení je výrazně levnější než například řídicí systém na bázi programovatelných automatů. Součástí řídicího systému bude i zajištění napájení jednotlivých akčních členů. Jelikož se část akčních členů pohybuje, je třeba vyřešit spojení těchto akčních členů s řídicím systémem. Kromě hardwarové části řídicího systému, která bude obsahovat i desku plošného spoje pro mikroprocesor, musí řídicí systém obsahovat i programové algoritmy. Algoritmy musí obsahovat rutiny pro obsluhu jednotlivých akčních členů, komunikaci s nadřazeným prvkem a algoritmy pro řízení.

Před samotným návrhem řídicího systému je však třeba analyzovat současný stav zařízení. Především určit jeho pohybové schopnosti a vlastnosti akčních členů. U pohybových vlastností se jedná hlavně o pracovní prostor a dosah zařízení. U akčních členů pak především o jejich typy a způsoby řízení.

2 Analýza stávajícího hardwaru

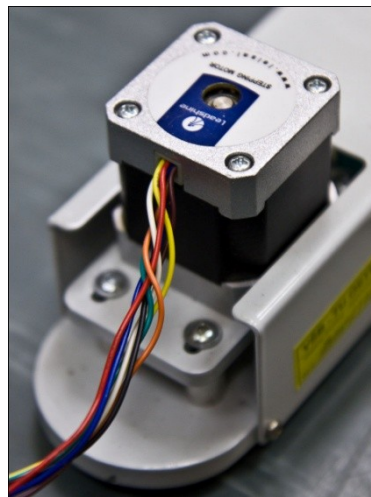
Zařízení je navrženo tak, aby se dali jednoduše změnit měřicí parametry, například výška nad měřeným profilem, a aby bylo možno měřit na profilech různých tvarů. Z těchto důvodů byla zvolena konstrukce robotického ramene, umístěném na rovinném pojezdu. Na konci robotického ramene je umístěn měřicí laser. Právě robotické rameno umožňuje jednoduše změnit pozici měřicího laseru. Rovinný pojezd pak slouží pro samotné skenování. Jednotlivé konstrukční části a akční členy budou popsány dále v textu.

2.1 Rovinný pojezd

Rovinný pojezd tvoří jeho základnu celého zařízení. Jeho součástí je kolejnice o délce 1 metr. Na kolejnici je připevněna plošina, která nese zbytek zařízení. Plošina se může pohybovat ve směru jedné osy, neboli provádí translační pohyb. Plošina je umístěna mimo rovinu těžiště kolejnice. Tvar kolejnice a úchyty plošiny je uzpůsoben tak, aby působil proti síle i krouticímu momentu.



Obr. 2.1 - Řemenice na konci posuvu

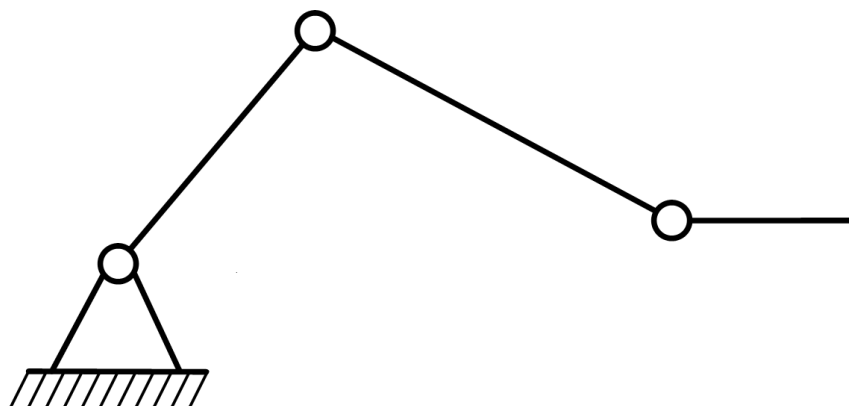


Obr. 2.2 - Servomotor na konci posuvu

Pohyb plošiny je zajištěn nepřímým náhonem, to je motorem umístěným na konci kolejnice. Motor je s plošinou spojený pomocí klínového řemene, který je veden přes motor na jedné straně kolejnice a přes řemenici na straně druhé. Na plošině je řemen uchycen na pevně. Klínový řemen se díky tomu může pohybovat jen v polovině své délky a pohyb musí být zajištěn obousměrně. Z toho plyne nutné použití krokového motoru.

2.2 Mechanické rameno

Mechanické rameno je připevněno k plošině rovinného pojezdu. Rameno je složeno ze čtyř částí, které jsou spojeny pomocí rotačních vazeb, spojení je znázorněno na obr. 2.3.



Obr. 2.3 - Schéma kloubového spojení robotického ramene

Koncový bod ramene se tak může volně pohybovat v jedné rovině. V ideálním případě je pohyb omezen pouze délkou jednotlivých ramen, přesněji kružnicí o poloměru rovnajícímu se součtu délek jednotlivých ramen. V reálném případě je pohyb navíc omezen klouby, které se nemohou otáčet o celých 360° , ale v tomto případě jen o 180° . Použité mechanické rameno má však ještě jednu rotaci navíc, ta je způsobena rotačním spojením mezi plošinou, na které je připevněno, a podstavou ramene. Za pomoci této vazby je umožněna rotace kolem osy x . Ideálně o 360° , v našem případě o 180° . Pohyb kloubů zajišťuje přímý náhon, realizovaný servomotory.

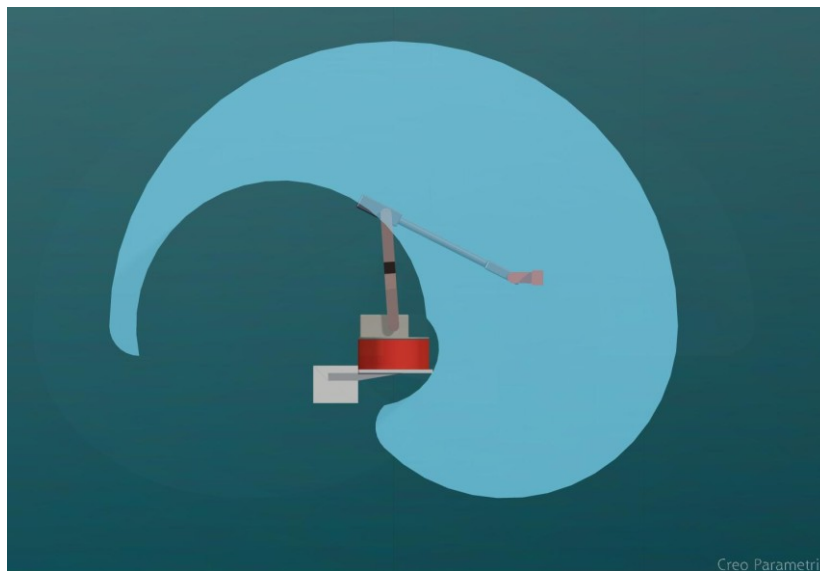


Obr. 2.4 - Model zařízení

2.3 Pracovní prostor

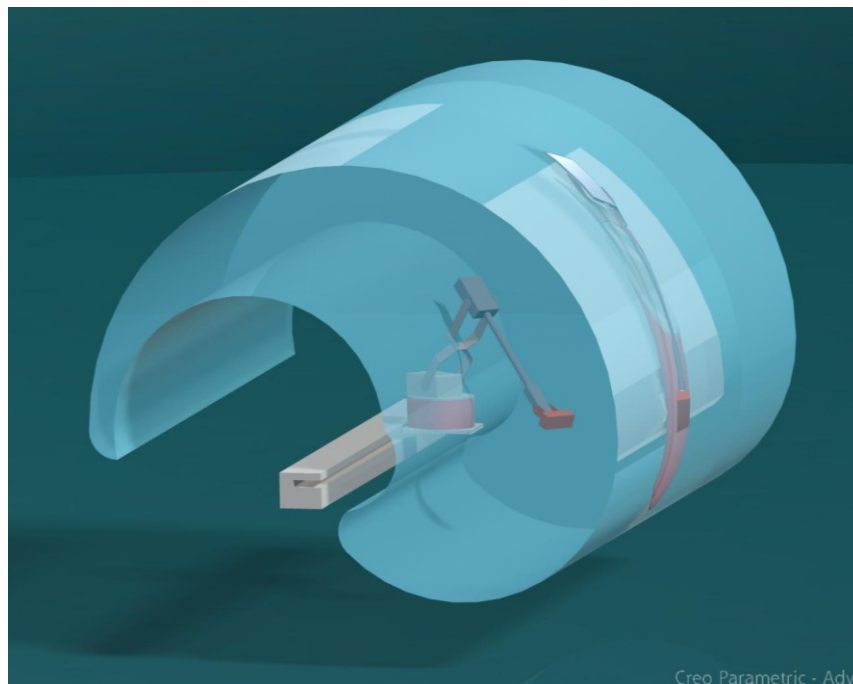
Pracovní prostor je oblast, ve které se koncový bod zařízení (v našem případě laser) může volně pohybovat. Ve většině případu se jedná trojrozměrný tvar. Tvar a velikost pracovního prostoru je přímo určen pohybovými vlastnostmi zařízení, tím jsou myšleny jednotlivé vazby, jejich počet, poloha a typ a jejich spojení, délka a tvar spojujících částí.

Naše zařízení má celkem pět stupňů volnosti, z hlediska dělení robotů podle stupňů volnosti se jedná o deficitního robota, protože mu chybí jeden stupeň volnosti, aby se mohl pohybovat volně v celém prostoru. Z pěti stupňů volnosti jsou čtyři rotace a jedna translace. Translace je omezena krajními body kolejnice, rotace jsou omezeny maximálním úhlem natočení. Navíc je v některých místech pracovní prostor omezen tvarem a rozměry celého zařízení. Pro analýzu tvaru a velikosti pracovního prostoru je nejlepší použít software pro modelování a simulaci. Já jsem použil software Creo Parametric 1.0 School Edition. Pracovní prostor u zařízení byl analyzovat po částech. Nejprve byl určen pracovní prostor, vymezený spojením podle obr. 2.3. Jedná se o rovinný pracovní prostor, protože nebereme v úvahu rotaci kolem osy x , ani translaci. Tento pracovní prostor má plochu $23,8 \text{ dm}^2$. Výsledný tvar je znázorněn na obr. 2.5.



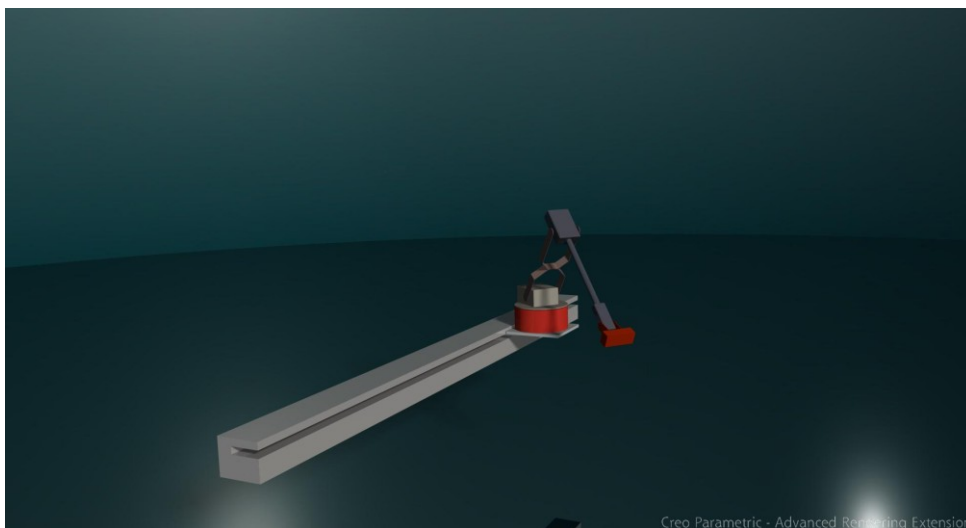
Obr. 2.5 - Rovinný pracovní prostor

Dále byla přidána translace, která přidá pracovnímu prostoru třetí rozměr, jak je vidět na obr. 2.6. Výsledný objem je $0,238 \text{ m}^3$.



Obr. 2.6 - Pracovní prostor bez rotace ramene kolem osy X

Nakonec jsem uvažoval rotaci robotického ramene kolem osy x . Takto vytvořený pracovní prostor vyplňuje "hluchá" místa a na krajích translace zvětšuje dosah. Výsledná velikost pracovního prostoru tak je $0,316 \text{ m}^3$.



Obr. 2.7 - Model zařízení

3 Akční členy a jejich příslušenství

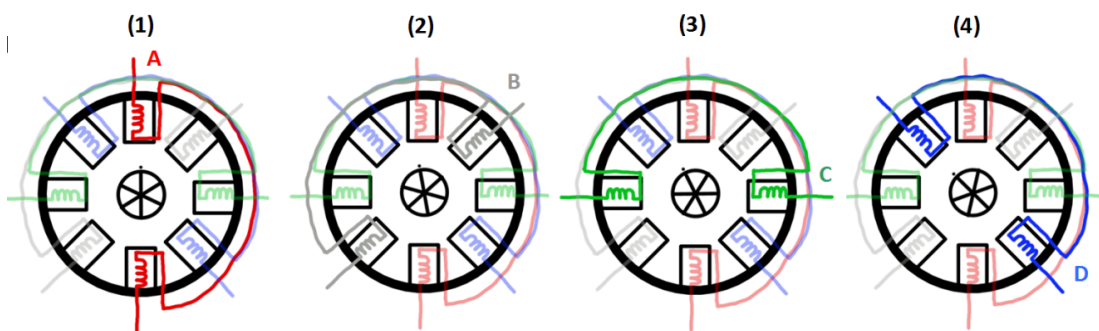
Členy jsou prvky zařízení, které vykonávají nějakou činnost. U našeho zařízení jsou akčními členy motory a snímací laser. V této práci se budeme zabývat pouze motory, jelikož ty jsou nutné pro polohování. Postupně si popíšeme všechny typy motorů nacházející se na zařízení.

3.1 Krokový motor

Krokový motor je synchronní točivý stroj, což znamená, že se rotor otáčí stejnou rychlostí jako točivé magnetické pole vyvinuté statorem. Na rozdíl od ostatních motorů, kde se točivé magnetické pole vygeneruje automaticky pouhým přivedením napětí, u krokového motoru je nutné speciální řízení.

3.1.1 Princip krokového motoru

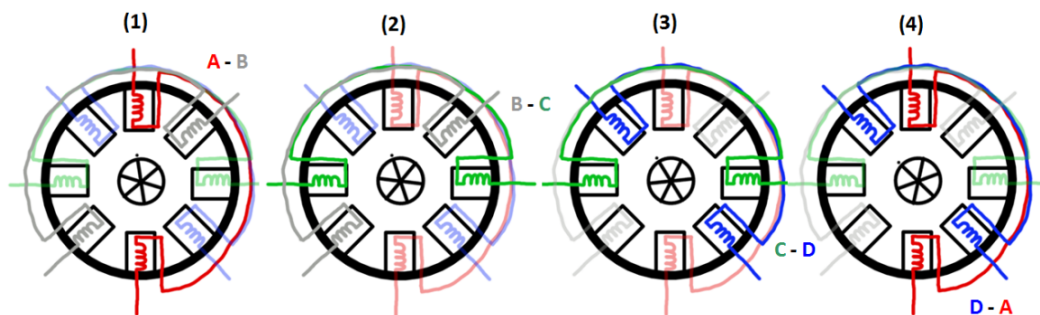
Nejjednodušším případem je reakční krokový motor. Ten se vyznačuje tím, že neobsahuje aktivní prvek (permanentní magnet) a jeho rotor je tvořen magneticky vodivým materiálem se zvýrazněnými póly, rovnoměrně rozestavenými po obvodu rotoru. Stator pak tvoří cívky, které jsou navinuté na pólové nadstavce, počet cívek určuje počet fází motoru. Jedna cívka přitom může být na více než jednom pólu.



Obr. 3.1 - Princip reakčního krokového motoru

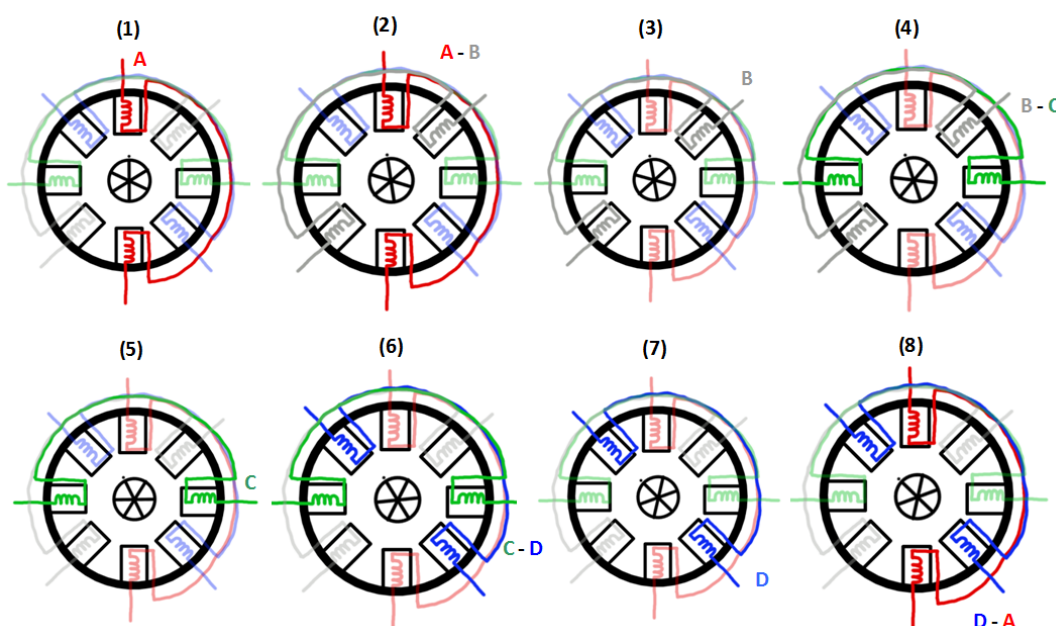
Princip krokového motoru si předvedeme na čtyřfázovém reakčním krokovém motoru. Na obr. 3.1 je krokový motor v řezu s barevně odlišenými cívkami. Cívka s přivedeným napětím je zvýrazněna. V poloze 1 je sepnuta červená cívka A, rotor motoru se je natočený tak, aby zaujímal co nejmenší magnetický odpor, což znamená, že jeden z pólů rotoru je v ose cívky. V poloze 2 je sepnuta cívka B a rotor se opět natočí tak, aby měl co nejmenší magnetický odpor. Při přepnutí cívek vykoná rotor pohyb jednoho kroku, motor na obr. 3.1 má velikost kroku 15° , neboli 24 kroků na otáčku. Velikost kroku je dána rozdílem úhlů,

kteřé svírají póly rotoru (60°) a úhlu statoru (45°). Dalším přepínáním cívek pak dojdeme k poloze 4, po které se cyklus opakuje. Popsané řízení je tzv. *čtyřtaktní jednofázové*, jednofázové proto, že sepnuta je vždy jen jedna cívka. Další možností řízení je čtyřtaktní dvojfázové řízení, které je zobrazeno na obr. 3.2. Prvním rozdílem je jiná rovnovážná poloha rotoru, díky magnetickému poli, které se nyní uzavírá přes dvě cívky. Stejně jako v předchozím případě se cívky přepínají, ale vždy jsou sepnuty právě dvě. Tím se dosáhne vyššího momentu na rotoru.



Obr. 3.2 - Dvojfázové čtyřtaktní řízení

Třetí možností řízení je osmitaktní řízení. Jedná se o kombinaci prvních dvou typu řízení. Střídavě je sepnuta jedna a dvě cívky, tím se docílí pootočení o polovinu kroku viz obr. 3.3. Výhodou tohoto řízení je zdvojnásobení kroku na otáčku, nevýhodou pak je kolísavost momentu. Tato kolísavost jde odstranit, pokud v poloze, kdy jsou sepnuty dvě cívky, jimi prochází menší proud než proud procházející jednou sepnutou cívkou.



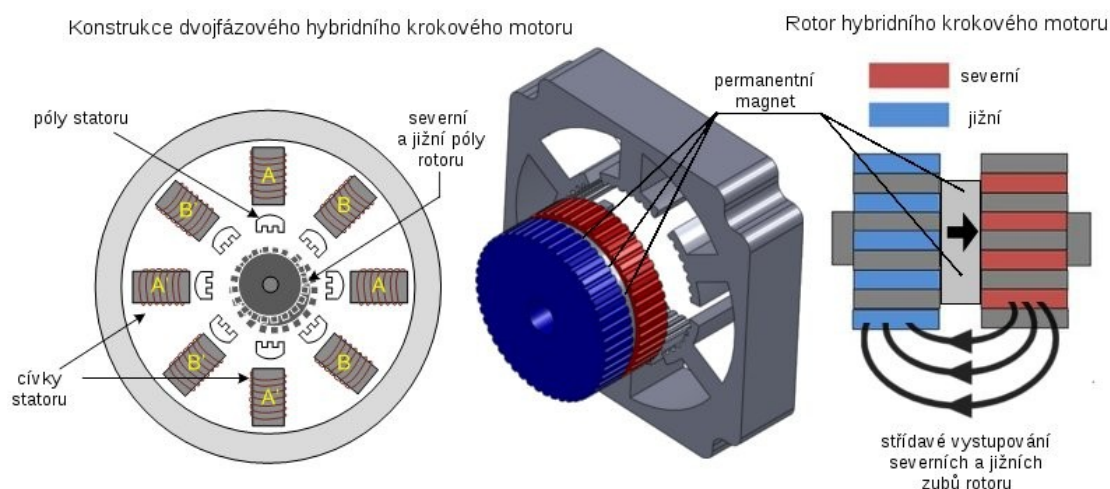
Obr. 3.3 - Osmitaktní řízení

Tento postup vede k tzv. *mikro-krokovému řízení*. Při němž se cívky nejen spínají, ale reguluje se i jejich výkon (proud), tím se docílí ještě menšího kroku. Zmenšením kroku se

dosáhne i menších rázů a vibrací. Mikro-krokováním se však zmenšuje moment vyvíjený motorem. Kroky ale nelze snižovat do nekonečna. Protože moment vyvinutý v jednom kroku musí být větší než moment vyvíjený zátěží.

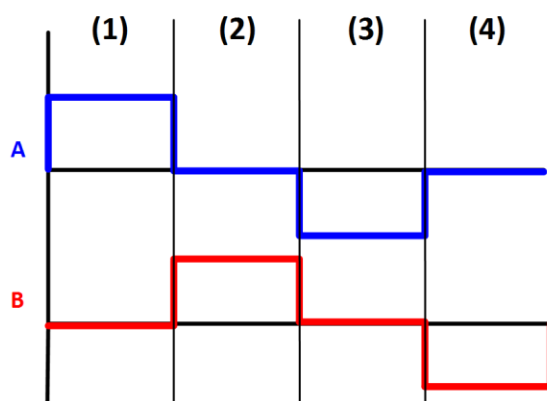
3.1.2 Hybridní krokový motor

Jedná se o v dnešní době nejpoužívanější typ KM. Jádrem jeho rotoru je tvořeno permanentním magnetem, na něm jsou nalisovány dva pólové nadstavce tak, že každý má jinou polaritu. Aby krokový motor fungoval, musí být pólové nadstavce vůči sobě pootočený tak, aby pól jednoho byl v mezeře mezi póly druhého.



Obr. 3.4 - Struktura hybridního krokového motoru [servo drive 2012]

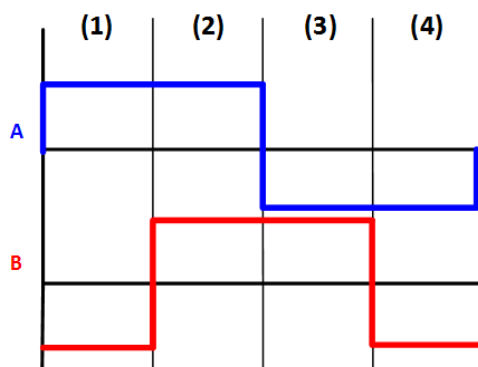
Stator má nejčastěji osm pólových hlav, které se na konci větví do hřebene, jenž mívá pět zubů. Díky tomuto vystačí dvě fáze. Princip řízení je velice podobný reakčnímu krokovému motoru. Čtyřtaktního řízení na dvou fázích docílíme díky změně polarity fáze, což je znázorněno na obr. 3.5.



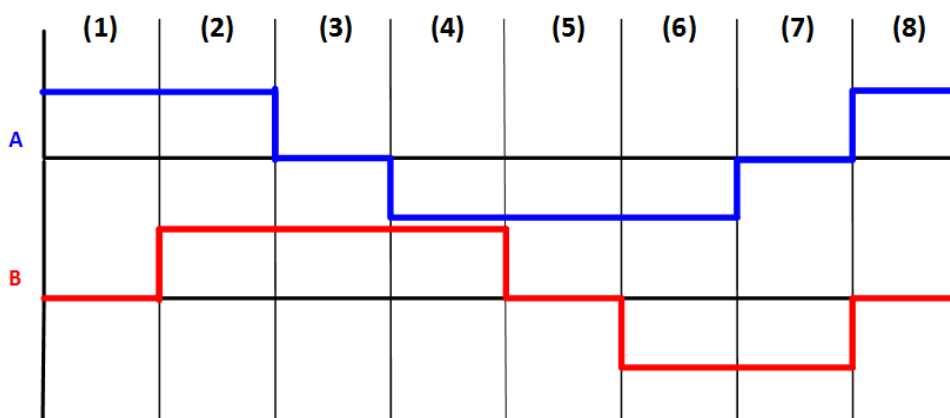
Obr. 3.5 - Schéma čtyřtaktního řízení pro hybridní KM

Obdobným způsobem pak probíhá dvoufázové čtyřtaktní řízení obr. 3.6 a osmitaktní řízení obr. 3.3. Tyto krokové motory se navíc vyznačují remanentním (zbytkovým)

momentem. Který je dán právě permanentní magnetem rotoru, který je i za vypnutého stavu přitahován k hřebenu statoru. Díky tomu je motor určitou silou blokován i v odpojeném stavu [Novák P. 2012].



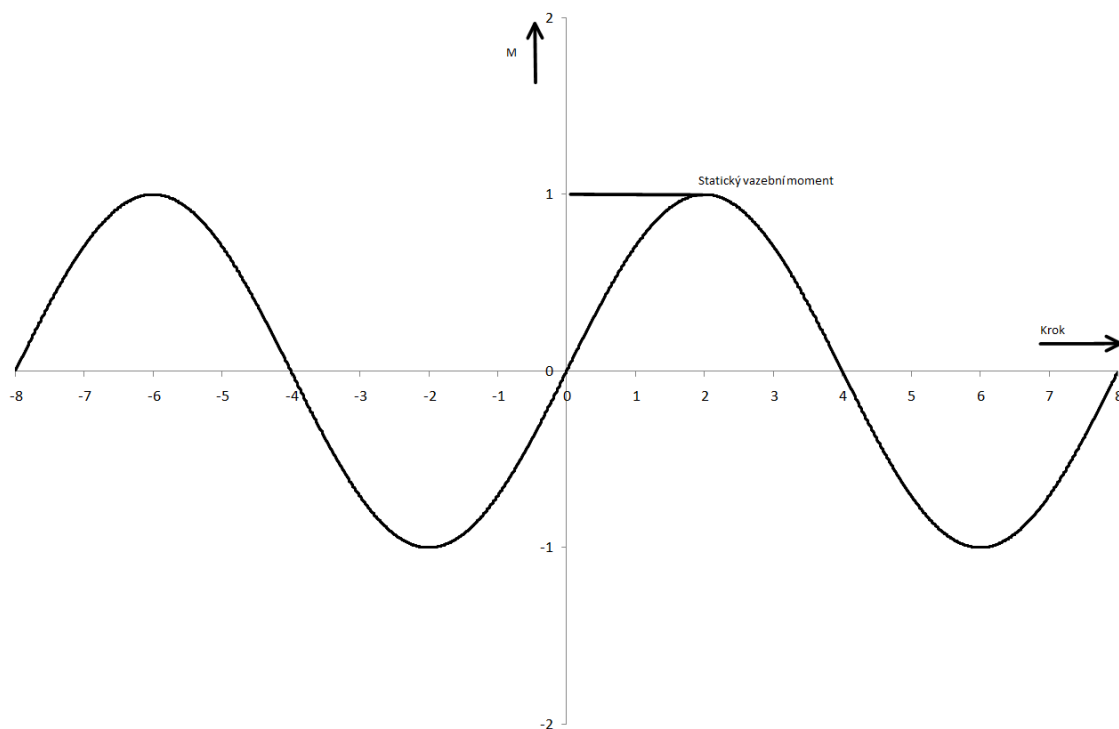
Obr. 3.6 - Čtyřtaktní dvoufázové řízení hybridního KM



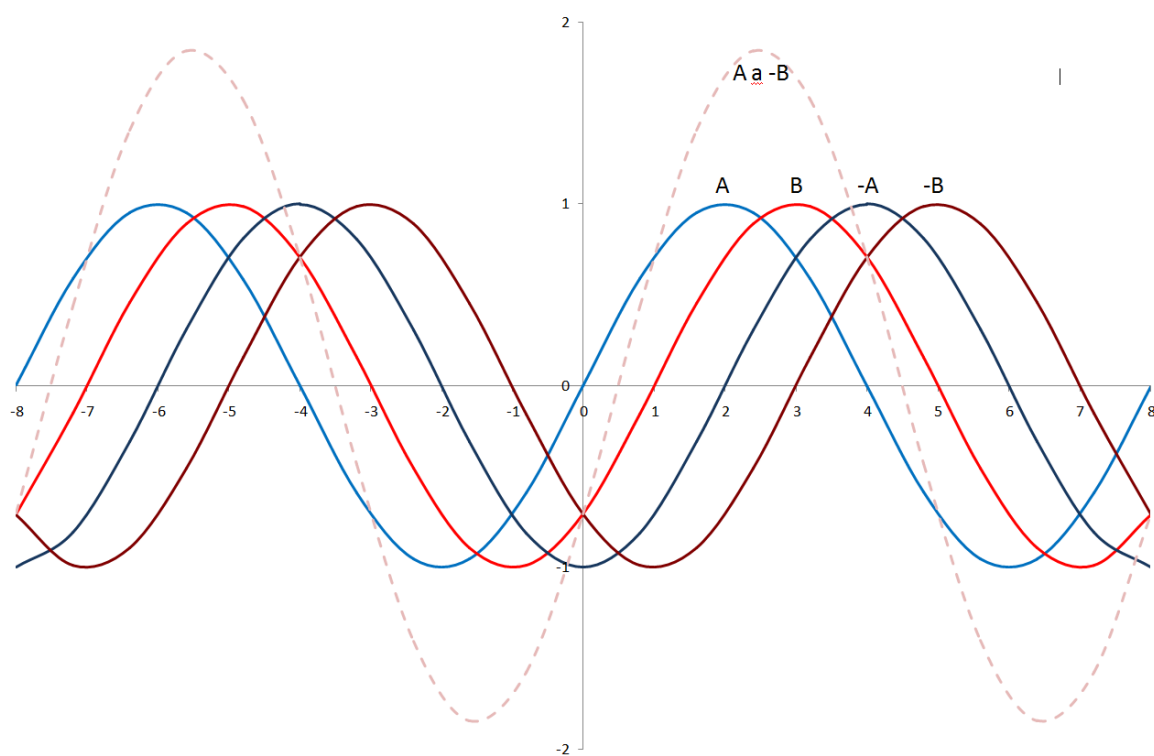
Obr. 3.7 - Osmitaktní řízení hybridního KM

3.1.3 Mechanické charakteristiky

Mechanické charakteristiky motorů jsou grafy zobrazující závislost momentu motoru na určité veličině (poloha, rychlost). **Statická momentová charakteristika** krokového motoru je závislost jeho momentu na úhlu natočení vůči jeho klidové poloze. Jak je vidět na obr. 3.8, pokud budeme vychylovat rotor na jednu nebo druhou stranu, bude proti našemu pohybu působit moment, který narůstá se zvětšující se výchylkou. Pokud ale překročíme bod 2, tak se KM překlápí do nové rovnovážné polohy bodu 3. Tomuto se říká ztráta kroku a je způsobena nadměrnou zátěží. Ze statické charakteristiky je taky patrné, že bod 2 je úhel rovnající se dvěma krokům KM. Z toho plyne možná nepřesnost KM. Moment v bodě 2 se nazývá *Statický vazební moment*.

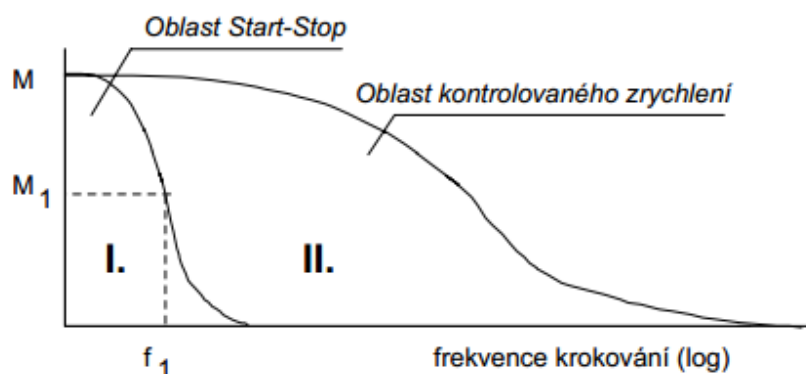


Obr. 3.8 - Statická momentová charakteristika KM



Obr. 3.9 - Statická momentová charakteristika KM pro čtyři takty

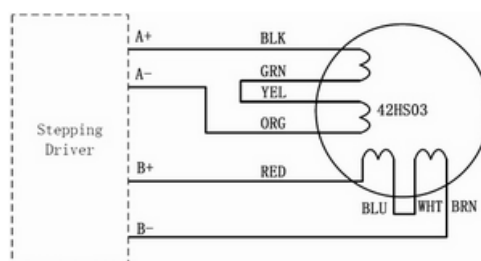
Na obr. 3.9 je statická charakteristika, se všemi fázemi. Čárkovaně je pak zobrazen moment při dvoufázovém řízení. **Momentová charakteristika** nám na rozdíl od té statické říká, jaký moment můžeme dosáhnout v závislosti na rychlosti motoru. Skládá se ze dvou částí, první část je oblast pro okamžité zrychlení, druhá udává moment pro pozvolné zrychlování. Je vidět, že při pozvolném zrychlování je možno dosáhnout větších rychlostí. Stejná pravidla platí i pro brzdění. Typická momentová charakteristika je na obr. 3.10 [Novák P. 2012].



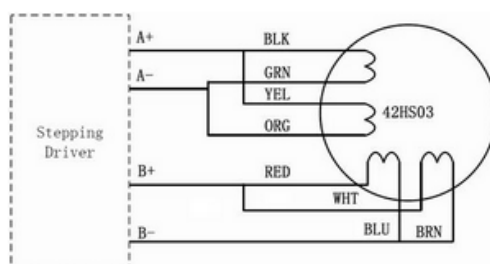
Obr. 3.10 - Momentová charakteristika KM [Novák P. 2012]

3.1.4 Parametry použitého krokového motoru

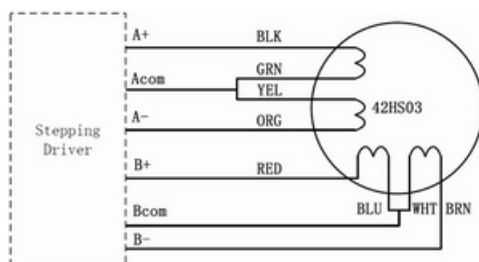
V našem zařízení je použit KM jako akční člen pro lineární posuv. Je použit dvoufázový hybridní motor **42HS03** od firmy *Leadshine Technology Co.* Tento motor má rozdělenou každou fázi na dvě cívky. Takto zkonstruovaný KM nám umožňuje více způsobu zapojení k řídicí jednotce. Na obr. 3.11 je takové zapojení, kdy cívky jedné fáze spojíme sériově a KM řídíme bipolárně. obr. 3.12 znázorňuje zapojení cívek sériově a řízení probíhá opět bipolárně. Rozdíl mezi těmito dvěma zapojeními je pouze v momentech, které KM vyvine. Třetí možné zapojení je na obr. 3.13. V tomto zapojení spojíme cívky sériově a vyvedeme jejich středy. Při řízení pak spínáme jen půlku takto vzniklé cívky. Změnou použité cívky změníme polaritu magnetického pole, aniž bychom potřebovali bipolární napájení. Nevýhodou je nižší moment. Na obr. 3.14 je momentová charakteristika pro pozvolné zrychlení. Na obrázku je zvlášť charakteristika pro každé zapojení s plným a polovičním krokováním. V tabulce 3.1 jsou uvedeny technické parametry KM [Leadshine Technology Co. 2012].



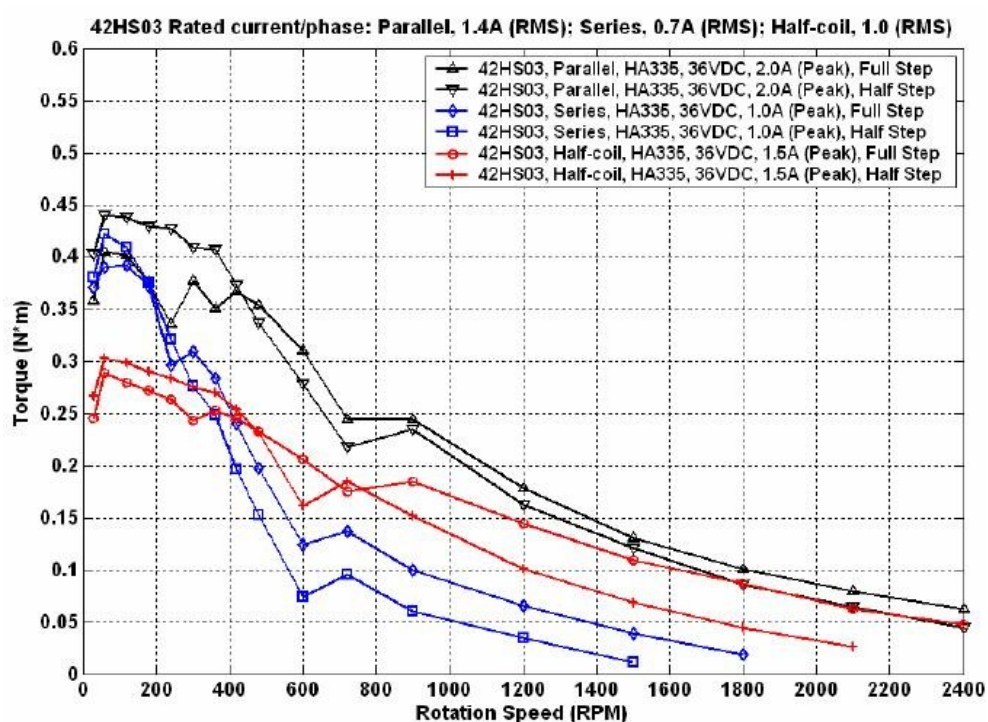
Obr. 3.11 - Zapojení 42HS03 sériové bipolární [Leadshine Technology Co. 2012]



Obr. 3.12 - Zapojení 42HS03 paralelní bipolární [Leadshine Technology Co. 2012]



Obr. 3.13 - Zapojení 42HS03 unipolární [Leadshine Technology Co. 2012]



Obr. 3.14 - Momentová charakteristika pro 42HS03 [Leadshine Technology Co. 2012]

Tabulka 3.1 - Mechanické parametry KM 42HS03

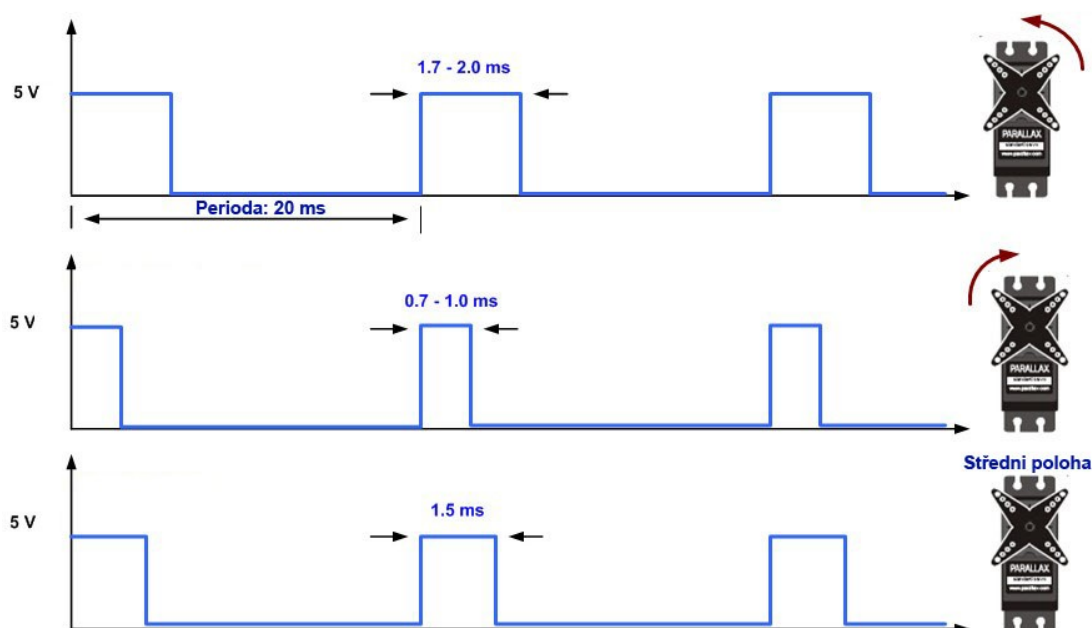
Úhel kroku		1.8° (200 kroků/ot.)		
Přesnost		+5%(full step, no load)		
Maximální teplota		80°C Max		
Provozní teplota		-10°C – +50°C		
Izolace		100MΩmin.500VDC		
Počet vodičů		8		
Zapojení	Statický vazební Moment [Nm]	Proud na jednu fázi [A]	Odpor na fázi [Ohm]	Indukčnost na fázi [mH]
(Bipolární) Paralelní	0.47	1.4	2.3±10%	4±20%
(Bipolární) Sériové	0.47	0.7	9.2±10%	16±20%
Unipolární	0.34	1.0	4.6±10%	4±20%

3.2 Servomotory

Jako servomotory se označují pohony sloužící k ovládání polohy, rotace nebo posunu s vysokou přesností. Nejčastěji to bývají KM, jelikož se můžou potočit o přesně daný úhel. Avšak samotný KM nezná svou aktuální polohu, ani nemůže reagovat na nepřesnost způsobenou ztrátou kroku. To odstraníme zavedením zpětné vazby ze hřídele do řídicí jednotky. Z toho plyne, že servomotor je jakýkoli motor, který má zpětnou vazbu, a je schopen řídit svou polohu. Samotné nastavení výstupní polohy servomotoru se provádí pomocí řídicí jednotky a ta se postará o to, aby poloha byla dodržena. Komunikace s řídicí jednotkou je různá a určuje ji výrobce.

3.2.1 Modelářské servomotory

V našem zařízení jsou použité takzvané modelářské servomotory. Tyto servomotory obsahují kromě řídicí jednotky a krokového motoru ještě převodovku. Jsou zkonstruovány tak, aby se výstupní hřídel mohla natáčet pouze o 180°. Výhodou těchto servomotorů je malá velikost a velký moment na výstupu, díky tomu se mohly servomotory umístit přímo do kloubů robotické ruky. Poloha servomotoru se nastavuje pomocí PWM obr. 3.15. Frekvence PWM je 50Hz a délkou pulzu se určuje poloha. Přesnou délku pulzu udává výrobce, většinou však bývá stejná. Pro polohu 0° je délka pulzu 1ms a pro polohu 180° jsou to 2 ms. Pokud by byl puls delší nebo kratší, došlo by k poškození servomotoru.



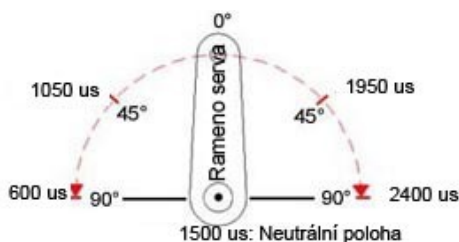
Obr. 3.15 - PWM řízení modelářského servomotoru [ermicro.com 2012]

3.2.2 Parametry použitých servomotorů

Na robotické ruce jsou použity servomotory od firmy HITEC, dohromady jsou čtyři. První největší servomotor je umístěné ve spodním kloubu robotické ruky. Jedná se o typ **HS 805 BB** a jeho parametry jsou v tabulce 3.2. Druhý servomotor **HS 755 HB** se nachází v druhém kloubu. Je menší a taky o něco slabší. Zbylé dva servomotory jsou **HS 455 HB**, jedno se nachází v třetím kloubu a druhé v otočné podstavě. Zvláštností těchto servomotorů je délka řídicího pulzu. Pro 0° je to 650 us a pro 180° délka 2 400 us [Hitec, 2012].

Tabulka 3.2 - Parametry použitých servomotorů

Typ	HS 805 BB	Typ	HS 755 HB	Typ	HS 485 HB
Typ ložisek	Dual Ball Bearing	Typ ložisek	Dual Ball Bearing	Typ ložisek	Top Ball Bearing
Rychlost [$^\circ$ /s] (4.8V/6.0V):	0.19 / 0.14	Rychlost [$^\circ$ /s] (4.8V/6.0V):	0.28 / 0.23	Rychlost [$^\circ$ /s] (4.8V/6.0V):	0.20 / 0.17
Moment [Nm] (4.8V/6.0V):	0,198/ 0,247	Moment [Nm] (4.8V/6.0V):	0,110/ 0,132	Moment [Nm] (4.8V/6.0V):	0,052 / 0,064
Rozměry [mm]:	65.79 x 29.97 x 57.40	Rozměry [mm]:	58.93 x 28.96 x 49.78	Rozměry [mm]:	39.88 x 19.81 x 37.85
Váha [g]:	153.09	Váha [g]:	110	Váha [g]:	45.08



Obr. 3.16 - Schéma natočení servomotoru podle délky pulzu

3.3 Výkonová elektronika

U zařízení je pouze jeden prvek výkonové elektroniky. Jedná se o výkonový prvek pro krokový motor. Konkrétně je to výkonový prvek **M542** od firmy *Leadshine Technology Co.* Tento výkonový prvek se stará o samotné spínání krokového motoru. Krokový motor řídí bipolárně, a používá mikro-krokování. Vstupem tohoto řídicího prvku jsou tři digitální vstupy. Na vstup označený PUL se přivádí pulzy, kde jeden pulz znamená posun o jeden krok, na vstup označený DIR se přivádí log. 0 pro jeden směr otáčení a log. 1 pro opačný směr. A vstup označený ENA slouží k zapnutí a vynutí řídicí jednotky. Napájení jednotky je v rozmezí 20 - 50 V DC. Natavení jednotky se provádí pomocí přepínačů na jednotce. První tři slouží k omezení výstupního proudu, poslední čtyři pak slouží k nastavení počtu kroků na otáčku.



Obr. 3.17 – M542

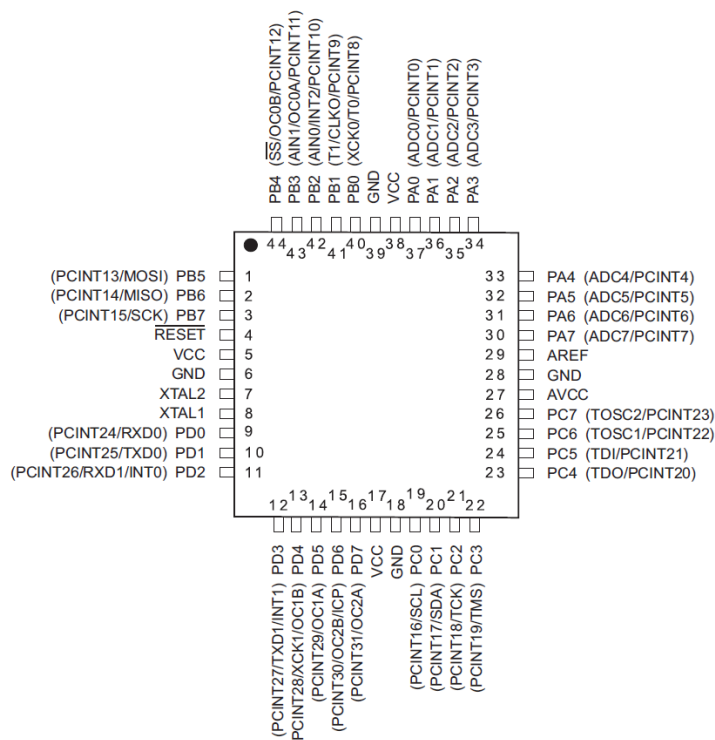
4 Mikroprocesor

Jako řídicí prvek bude sloužit mikroprocesor. Mikroprocesor bude přímo řídit modelářská servomotory a nepřímo krokový motor přes jednotku M542. Dále bude komunikovat s nadřazeným prvkem, od kterého bude dostávat instrukce. Podle těchto požadavků byl vybrán procesor firmy Atmel, konkrétně procesor ATmega324p.

4.1 ATmega324p

ATmega324p je procesor z řady ATmega. Tato řada zahrnuje 8-bitové procesory architektury RISC. Jedná se o jedny z nejpoužívanějších procesorů na trhu, které se vyznačují vysokou efektivitou a uživatelskou podporou.

Zvolený procesor disponuje 32 kb paměti flash pro program, díky tomu může obsahovat i složité a obsáhlé programy. Další důležitou vlastností je 1 kb paměti EEPROM pro ukládání dat. Tato paměť uchovává informace i po odpojení zařízení od napájení, proto je vhodná například pro uchování prováděcího cyklu pohybu ramene. Procesor dále disponuje čtyřmi vstupně výstupními porty, každý port má osm pinů. Tyto porty mají nastavitelné funkce. Mezi tyto funkce patří digitální vstupy a výstupy, analogové vstupy a výstupy, speciální funkce jako například UART, SPI, PWM.

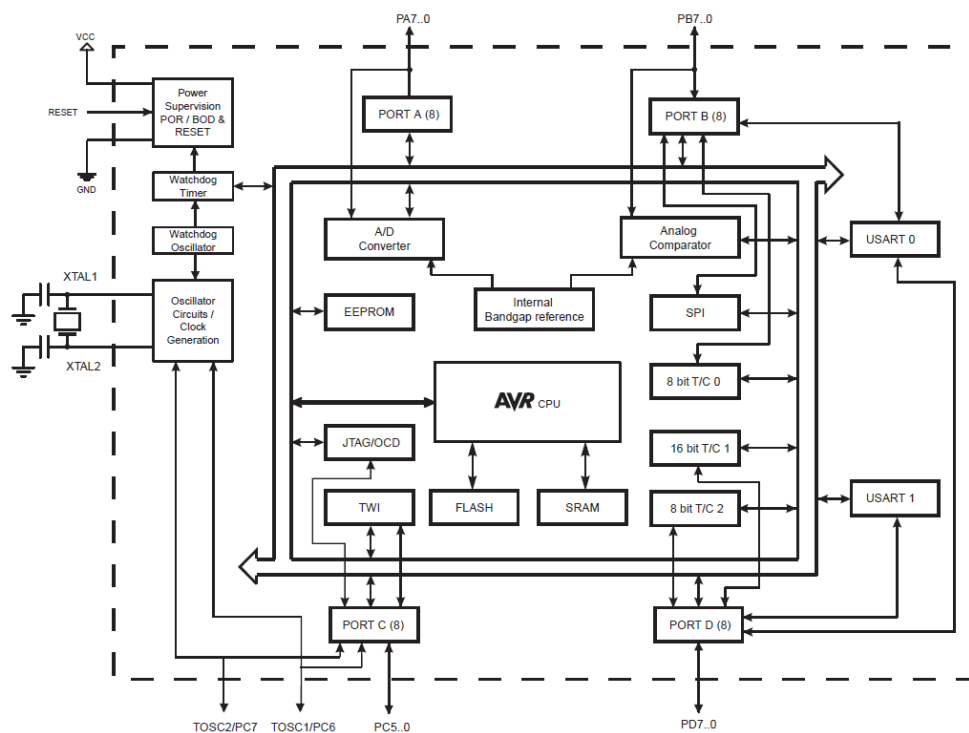


Obr. 4.1 - Rozmístění pinů a jejich funkce

Jak je vidět na obr. 4.1 mnoho pinů má několik funkcí. V jednom časovém okamžiku však funguje pouze jako jeden z nich. To, jakou funkci bude který pin vykonávat se nastavuje v registrech procesoru. Procesor obsahuje vnitřní oscilátor na frekvenci 8MHz, díky tomu stačí na procesor přivést napájecí napětí, aby procesor fungoval. Externí oscilátor může mít až 20 MHz.

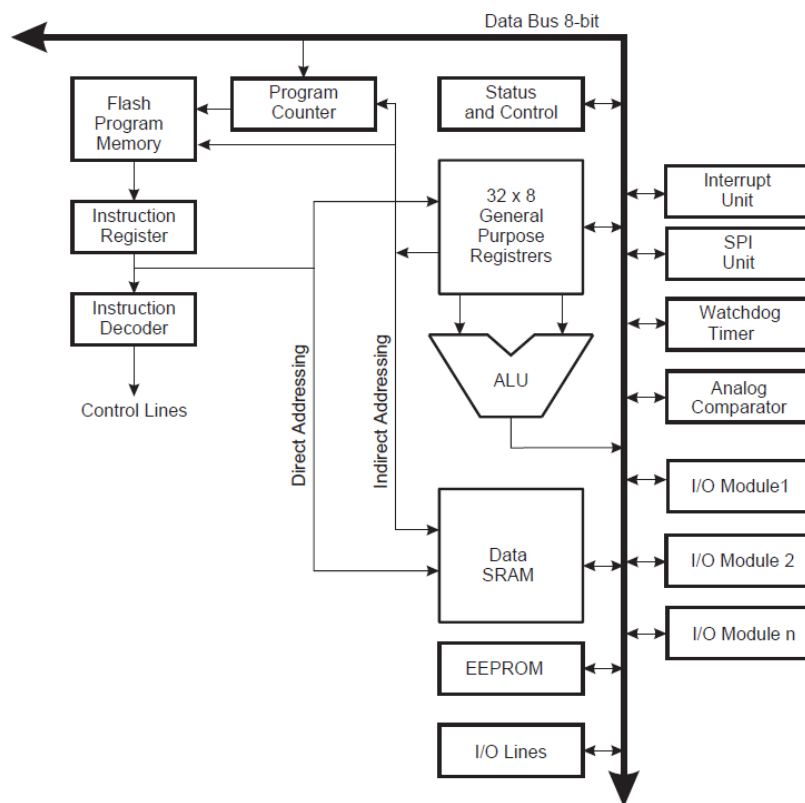
4.1.1 Struktura ATmega324p

Na obr. 4.2 je blokové schéma procesoru, na kterém je vidět propojení jednotlivých periférií procesoru. Samotný procesor je pak označen jako CPU a skládá se z 32 hlavních registrů, paměti programu, instrukční sady, překladače instrukcí, počítadla programu, řadiče, a ALU. Jádru CPU je propojeno s perifériemi pomocí osmibitové datové sběrnice, viz obr. 4.3.



Obr. 4.2 - Blokové schéma ATmega324p

Hlavní registry obsahují údaje o nastavení, běhu procesoru a rychle přístupné proměnné. Kromě hlavních registrů existují registry jednotlivých periférií. Paměť programu obsahuje samotný program v podobě instrukcí, vybraný procesor rozeznává 131 různých instrukcí. Tyto instrukce jsou pak pomocí instrukční sady a překladače vykonávány. Pozice následující instrukce, která se bude provádět, je obsažena v počítadle instrukcí. ALU se stará o instrukce výpočtů. [ATMEL 2013]



Obr. 4.3 - Blokové schéma CPU

4.1.2 Přehled parametrů ATmega324p

Architektura RISC

- 131 instrukcí
- 32 osmibitových registrů
- až 20MIPS

Paměti

- 32 kb paměti programu
- 2 kb paměti SRAM pro proměnné
- 1 kb paměti EEPROM pro proměnné
- Uchování dat v paměti EEPROM 20let při teplotách okolo 85°C a 100 let při teplotách okolo 25°C

Periferie

- Dva 8-bitové čítače s dvěma porovnávacíma registry
- Jeden 16-bitový čítač s dvěma porovnávacíma registry
- Jednotku reálného času
- Šest PWM výstupů
- Osm kanálů 10-bitového AD převodníku
- Dva kanály UART
- SPI sběrnice
- I2C sběrnice
- Watchdog

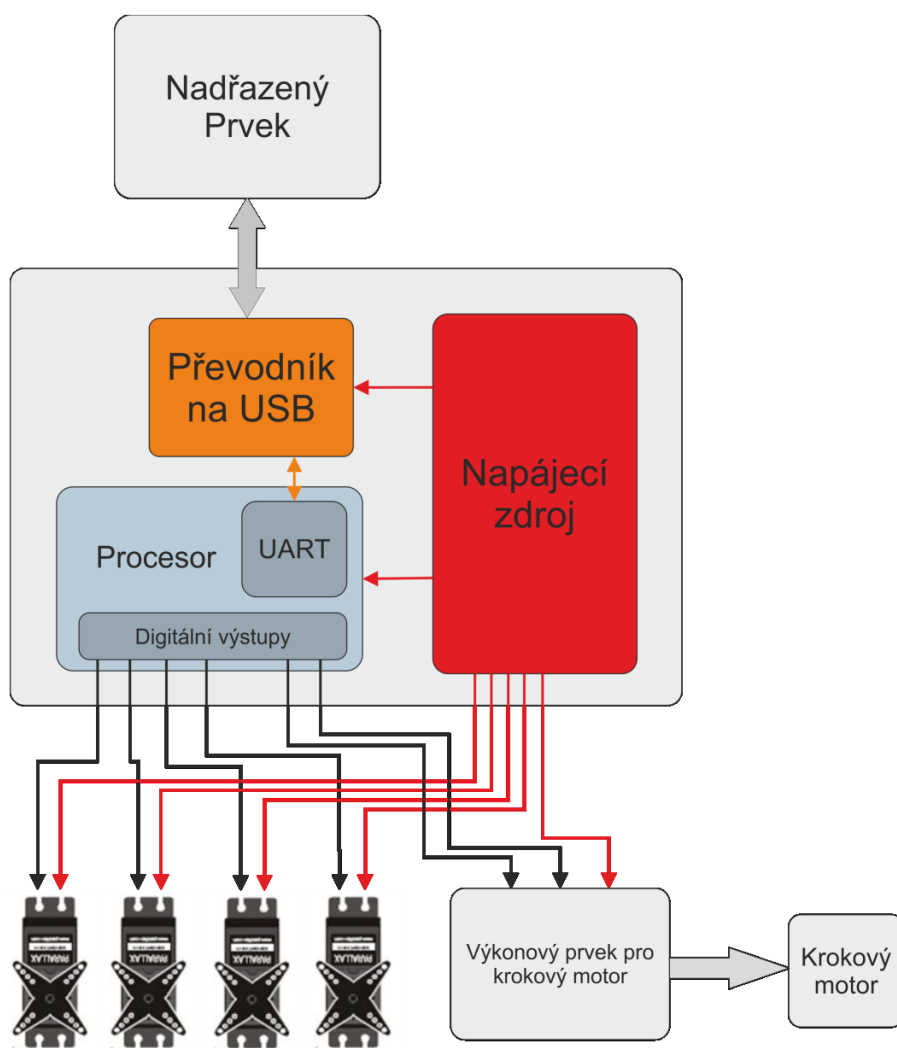
Napájecí napětí

- 2,7 V - 5,5V, pro OSC do 12MHz
- 4,5 V - 5,5V, pro OSC nad 12MHz

5 Návrh a tvorba řídicího systému

Řídicí systém se skládá z několika částí. Hlavní částí je samotný řídicí modul. Na tomto modulu je umístěn procesor ATmega324p. Procesor se stará o řízení akčních členů a o komunikaci s nadřazeným prvkem, kterým může být například počítač nebo jiný prvek distribuovaného systému. Toto spojení je realizováno skrze převodník UART na USB. Dále tento modul obsahuje napájecí zdroj. Napájecí zdroj zajišťuje elektrickou energii, a to jak pro logickou část, tak pro část výkonovou.

Další částí systému jsou výkonové a akční prvky. Ty jsou připojeny k řídicímu modulu. Servomotory mají výkonový prvek interní, na rozdíl od krokového motoru, u něhož je výkonový prvek externí. Kromě napájení jsou do výkonových prvků přivedeny řídicí signály. Blokové schéma řídicího systému je na obr. 5.1.



Obr. 5.1 - Schéma řídicího systému

5.1 Řízení servomotorů

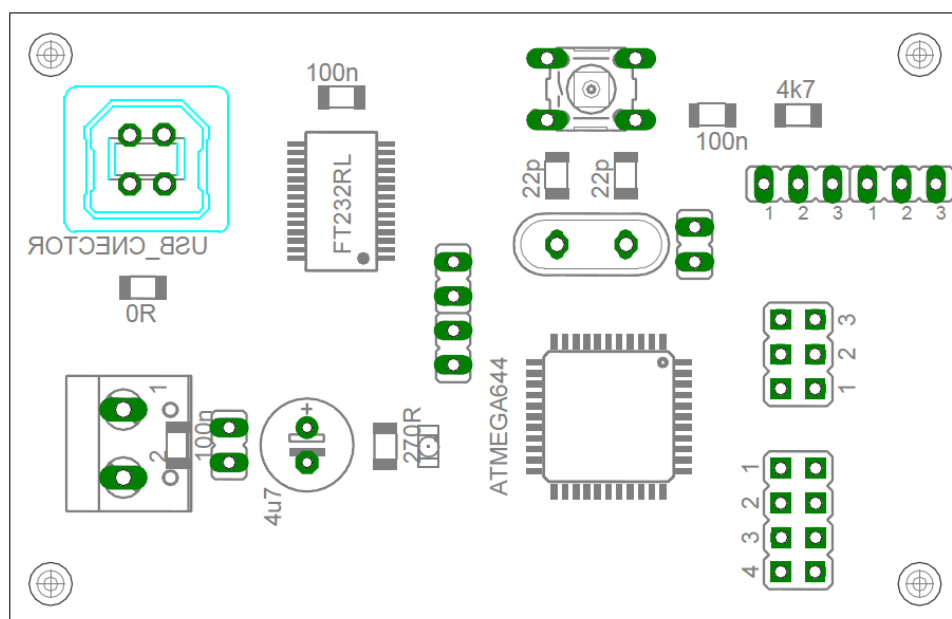
Použité servomotory se řídí pomocí PWM o frekvenci 50 Hz, tato frekvence není kritická a stačí, aby byla dodržena přibližně. Kritická pro řízení je délka pulzů, která přímo ovlivňuje pozici servomotoru. Krajiní meze délky pulzu korespondují s krajními mezemi polohy servomotoru, přechod mezi krajními body je lineární. Délka pulzu může být v rozmezí 0,6 ms - 2,4 ms, což znamená polohu natočení 0° - 180° . Výkonový prvek servomotoru obsahuje zpětnou vazbu, která zaručuje dodržení zadané polohy.

5.2 Řízení krokového motoru

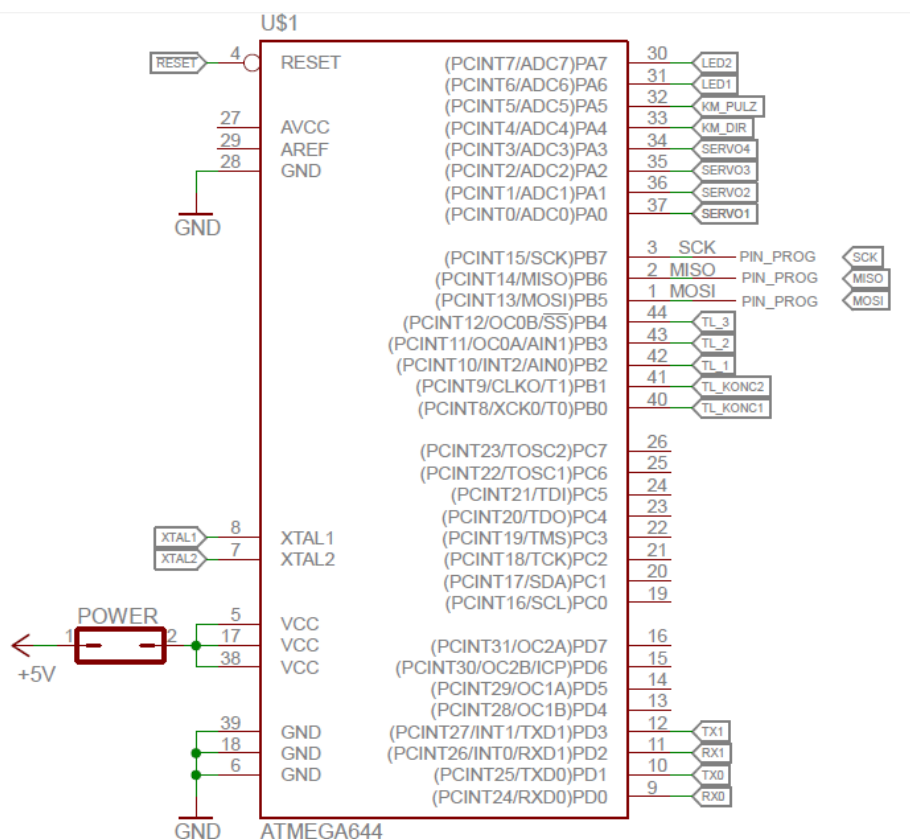
Řízení krokového motoru probíhá skrze externí výkonový prvek. Ten je řízen dvěma vstupy. První vstup určuje směr otáčení krokového motorů, kde signál v logické 1 určuje jeden směr a signál v logické 0 směr druhý. Druhý vstup udává počet kroků, které se mají v aktuálním směru provést, kde jeden pulz v logické 1 znamená jeden krok.

5.3 Návrh procesorové desky

Pro realizaci řídicího systému bylo potřeba navrhnout desku plošného spoje pro procesor. Tato deska musí obsahovat dostatek výstupů pro řízení všech akčních členů. Dále tato deska musí obsahovat externí oscilátor, díky němuž je zajištěný vyšší výpočetní výkon procesoru.

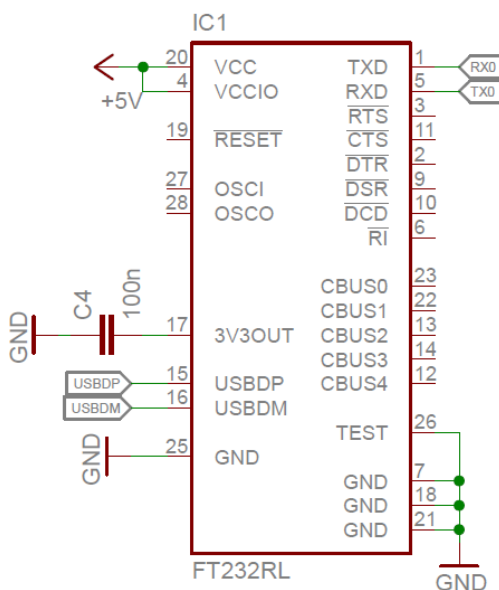


Obr. 5.2 Rozložení součástek plošného spoje



Obr. 5.3 – Zapojení procesoru ATmega324P

Další částí procesorové desky je převodník komunikační sběrnice UART na USB, díky kterému je zajištěná snadná komunikace s nadřazeným prvkem. Jako převodník UART na USB byl použit čip FT232RL. Tento čip vytváří na sběrnici USB virtuální sériovou linku RS232.

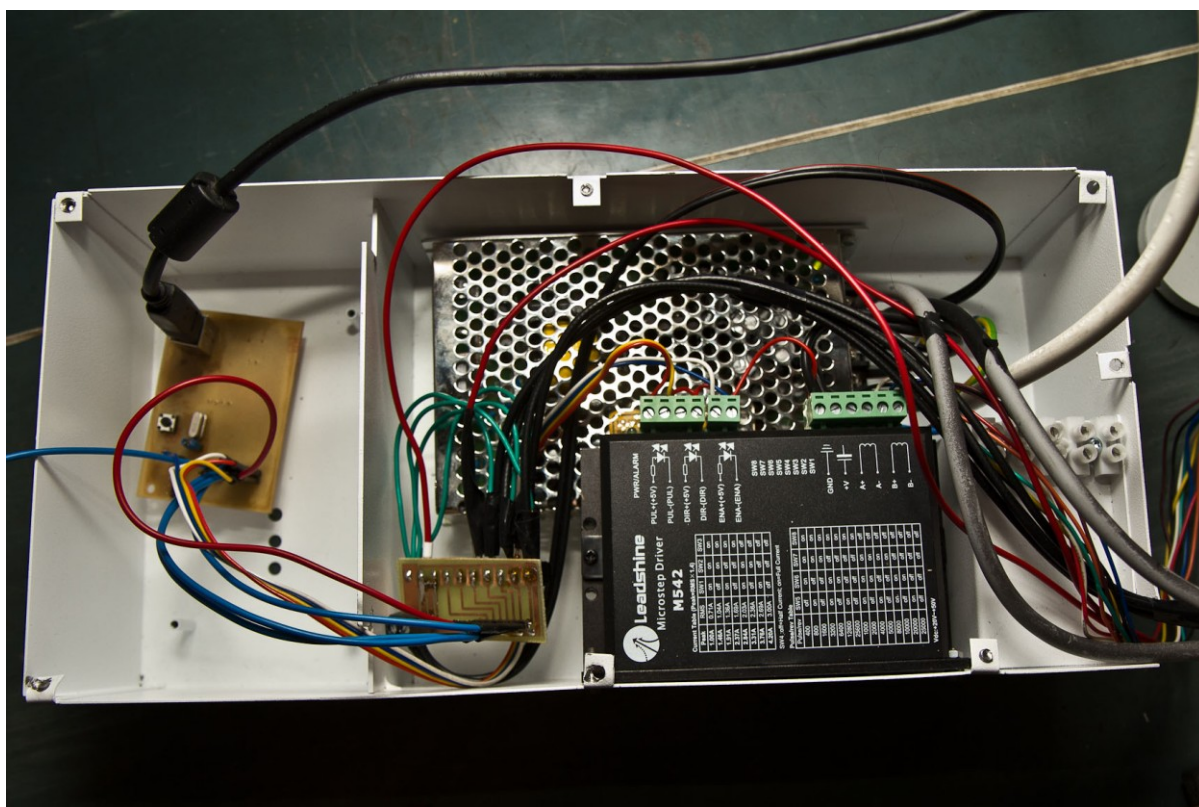


Obr. 5.4 – Zapojení převodníku UART na USB

Potřebné napětí pro procesor a převodník je dodáváno přes USB nebo ze zdroje pro akční členy. Schéma plošného spoje bylo navrženo v softwaru EAGLE 3.6. EAGLE je program určený pro návrh elektronických schémat a následnou tvorbu desek plošných spojů. Celkové schéma zapojení a výsledná deska plošného spoje je příloze I a II.

5.4 Sestavení řídicího systému a propojení se zařízením

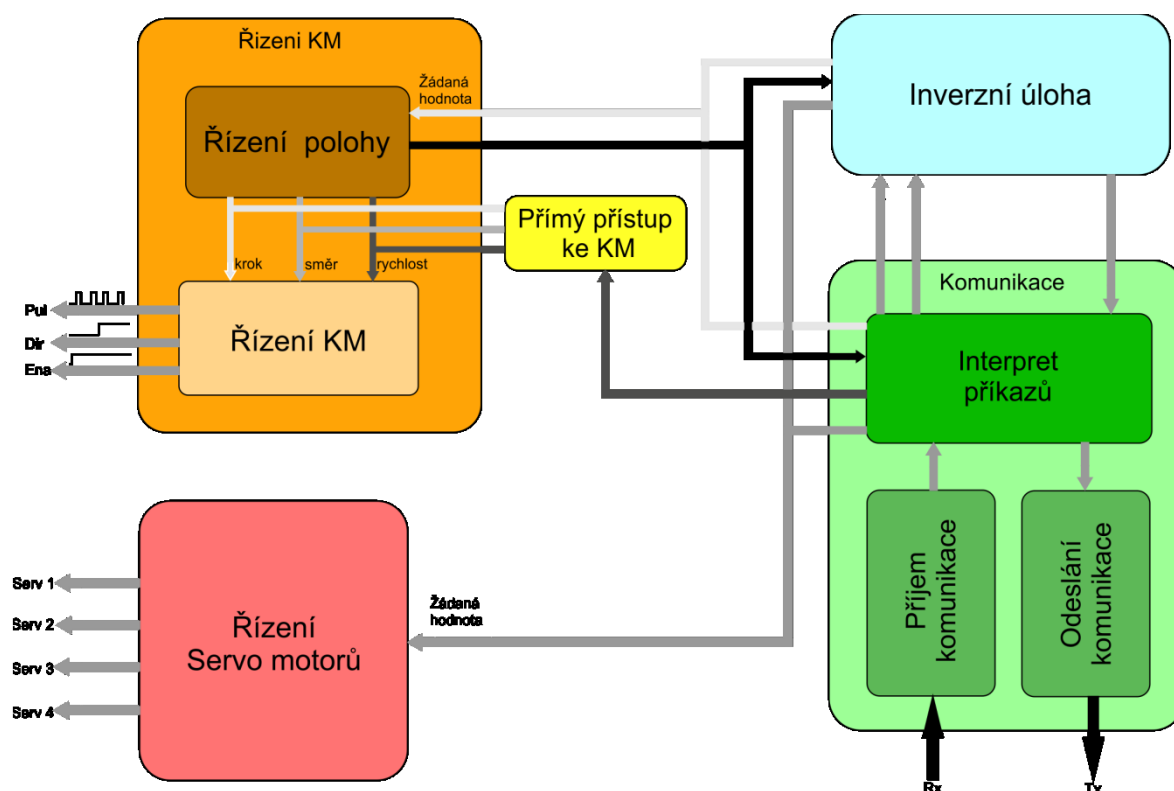
Součástí řídicího systému je průmyslový spínaný zdroj. Ten zajišťuje napájení akčních členů i procesorové desky. Vstupem tohoto zdroje je síťové napětí a výstupem dvě napěťové větve a to 5 a 24 V. Tento zdroj, výkonový prvek pro krokový motor a procesorová deska jsou umístěny v konstrukční krabici, viz obr. 5.5. Vývody z cívek krokového motoru, jsou pak přivedeny přímo na výkonový prvek. K servomotorům vedou dva napájecí kabely pro 5 V a čtyři datové kabely. Při testování systému bylo zjištěno, že tyto kabely musí být stíněné, jinak se signály navzájem rušily. Proto byl nakonec použit tenký koaxiální kabel se stíněním. Veškeré kabely vedoucí k servomotorům jsou neustále ohýbány, proto byly použity kabely s pleteným jádrem.



Obr. 5.5 - Řídicí systém

6 Tvorba řídicího softwaru

Software pro řízení systému se skládá z několika samostatných bloků (částí). Tyto bloky jsou navrženy tak, aby na sobě nebyly přímo závislé. Komunikují pouze pomocí vstupních a výstupních parametrů. Různé bloky mají různou prioritu ve vykonávání, bloky přímo ovládající hardware mají nejvyšší prioritu, čímž je zajištěna co nejkratší reakční doba.



Obr. 6.1 - Blokové schéma programu

6.1 Řízení krokového motoru

U řízení krokového motoru nemáme zpětnou vazbu. Ale díky dostatečnému výkonu krokového motoru můžeme předpokládat, že nedojde ke ztrátě kroku. V takovém případě potřebujeme pouze registr, do kterého budeme ukládat aktuální polohu. Tuto polohu pak bereme jako přesnou a při každém kroku tento registr inkrementujeme nebo dekrementujeme, a to podle směru pohybu. Inicializace polohy při startu systému probíhá pomocí koncového spínače na jedné straně dráhy. Tento bod je brán jako nulová poloha krokového motoru. Celá dráha má pak 54 000 kroků a je dlouhá 1 m.

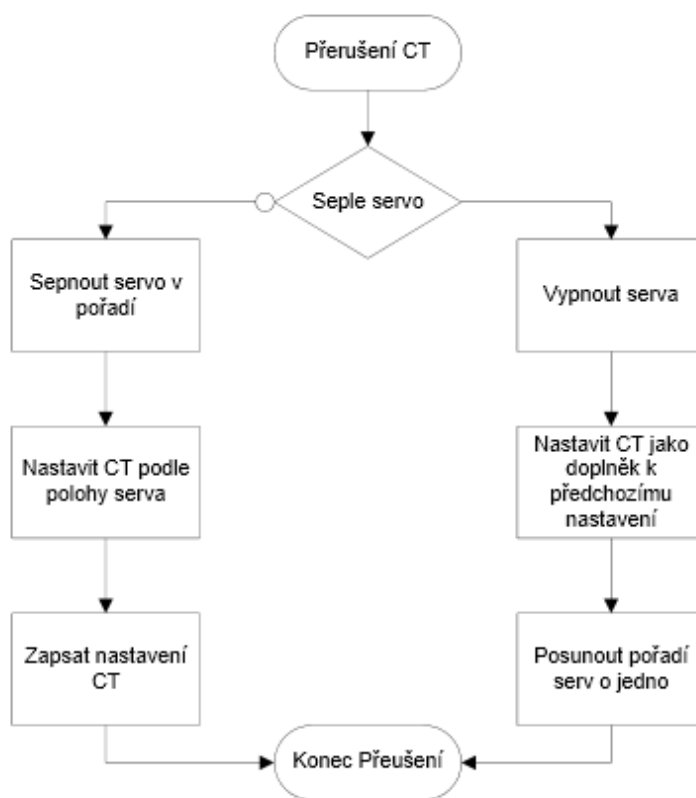
Celé řízení krokového motoru se skládá ze dvou pod-bloků. První blok zajišťuje samotný pohyb generováním pulzů pro driver krokového motoru. Vstupním parametrem

této části je pouze počet kroků, směr a rychlost. Tento blok se nestará o aktuální polohu na dráze, pouze při sepnutí koncového spínače se přeruší.

Druhý blok je nadřazený a jeho vstupem je požadovaná poloha v krocích od nulové pozice. Tyto hodnoty pak porovná s aktuální polohou a vypočte požadovaný počet kroků a směr. Dále si také hlídá aktuální polohu a při splnění požadavků dává informaci komunikačnímu bloku.

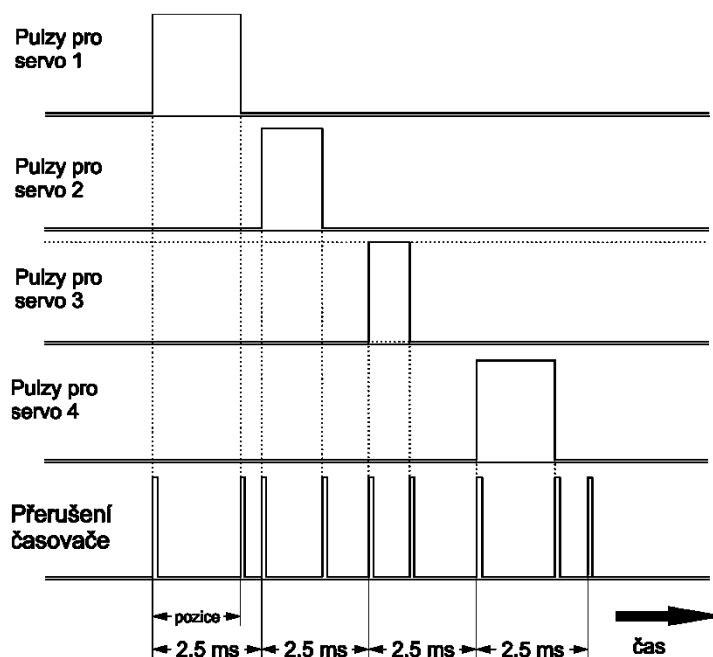
6.2 Řízení servomotorů

Servomotory mají vlastní zpětnou vazbu, proto jim stačí předat požadovanou polohu. Což, jak bylo popsáno v části 3.2, se provádí PWM. Použitý mikroprocesor disponuje pouze dvěma hardwarovými PWM kanály. Proto bylo potřeba vytvořit softwarové PWM.



Obr. 6.2 - Algoritmus řízení servomotorů

Tento algoritmus se vykonává cyklicky a má největší prioritu. Využívá té vlastnosti PWM pro servomotory, že perioda je 20 ms a nejdelší délka pulzu jsou 2,5 ms. Díky tomu můžeme velmi přesně řídit až osm servomotorů pomocí jediného čítače časovače. Řízení probíhá podle obr. 6.2, samozřejmě je potřeba nejdříve přepočíst úhel natočení na délku pulzu.



Obr. 6.3 - Fázově posunuté PWM pro servomotory

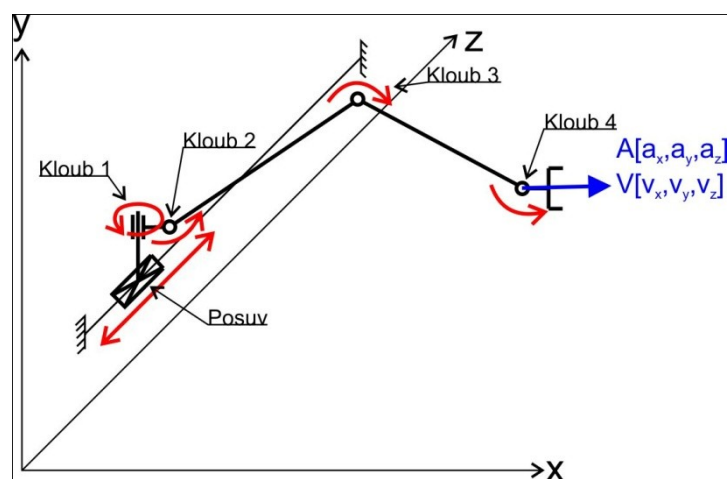
6.3 Blok inverzní úlohy

Dalším blokem je výpočet požadované hodnoty pro akční členy z polohy koncového bodu ramene. Tento způsob řízení se nazývá inverzní, jelikož máme zadanou polohu a vektor natočení koncového efektoru, v našem případě snímacího laseru, v rámci definovaného souřadného systému. A k této poloze je potřeba dopočíst polohu akčních členů. Zařízení je otevřený kinematický řetězec, skládající se z jedné translace a čtyř rotací.

Jelikož se jedná o analyticky řešitelnou soustavu, vyřešil se algoritmus inverzního řízení analyticky. Analytické řešení je oproti obecným numerickým řešením náročnější na sestavení, ale výsledný algoritmus je pak většinou mnohem rychlejší na výpočet, což je vzhledem k použití mikroprocesoru výhodné.

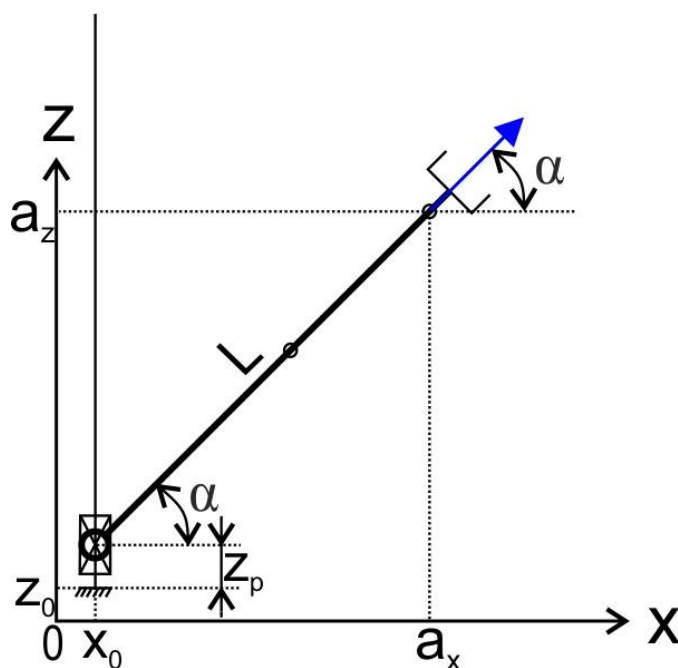
6.3.1 Analytické řešení inverzní úlohy

Pro analytické řešení si je potřeba rozdělit kinematický řetězec na několik částí a řešit je postupně. Díky struktuře řetězce je nastavení kloubu 1 přímo dáno úhlem, který svírá výsledný vektor efektoru s osou x v rovině xz , ten vypočteme podle rovnice (1). Může nastat případ, kdy vektor efektoru bude rovnoběžný s osou y , v takovém případě bude úhel kloubu 1 nulový.



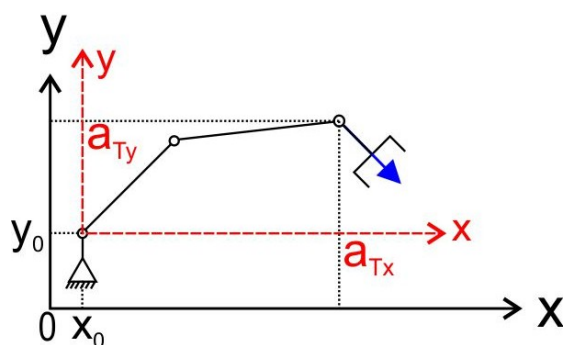
Obr. 6.4 - Kinematický řetězec

Další bod je určení nastavení translace, kterou můžeme vypočítat pomocí rovnice (2), ta je odvozena z obr. 6.5. Pro řešení kloubu 2,3 a 4 je potřeba natočit rameno do roviny xy kolem osy y . Díky tomu můžeme klouby 2,3 a 4 řešit v rovině na místo v prostoru. Transformaci provedeme podle rovnic (3) a (4), výsledek je znázorněn na obr. 6.6.

Obr. 6.5- Průmět do roviny xz

$$\alpha_{xz} = \arctg\left(\frac{v_z}{v_x}\right) \quad (1)$$

$$z_p = a_z - z_0 - \tg(\alpha_{xz}) \cdot (a_x - x_0) \quad (2)$$

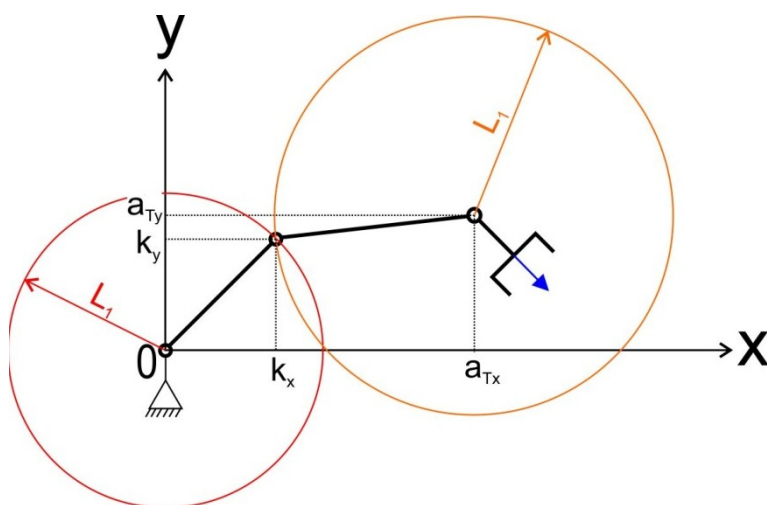


Obr. 6.6 - zobrazení otočeného ramene v rovině xy

$$A_T = \left[\left(\frac{a_x - x_0}{\cos(\alpha_{xz})} \right); (a_y - y_0); 0 \right] = \left[\left(\frac{a_x - x_0}{\cos(\alpha_{xz})} \right); (a_y - y_0) \right] \quad (3)$$

$$V_T = \left[\left(\frac{v_x}{\cos(\alpha_{xz})} \right); v_y; 0 \right] = \left[\left(\frac{v_x}{\cos(\alpha_{xz})} \right); v_y \right] \quad (4)$$

Pro nastavení kloubu 2 a 3 je potřeba zjistit polohu kloubu 3. Poloha kloubu 2 je dána konstrukcí řetězce a poloha kloubu 4 je dána výslednou polohou efektoru. Pro zjednodušení posuneme všechny souřadnice tak aby počátek souřadnic byl v kloubu 2. Poloha kloubu 3 je dána průnikem dvou kružnic o poloměru rovném délkám ramen, a středech v kloubech 2 a 4, viz obr. 6.7. Polohu vypočteme podle rovnic (5) a (6). Průnik kružnic může mít několik možných řešení. A to jedno, dvě anebo žádné. Pokud neexistuje řešení, pak žádaná poloha leží mimo dosah. V případě, že má rovnice dvě řešení, použijeme to s větší souřadnicí y. Obecně může mít průnik dvou kružnic i nekonečně mnoho řešení, ale jen v případě stejných poloměrů, což u zařízení neplatí.

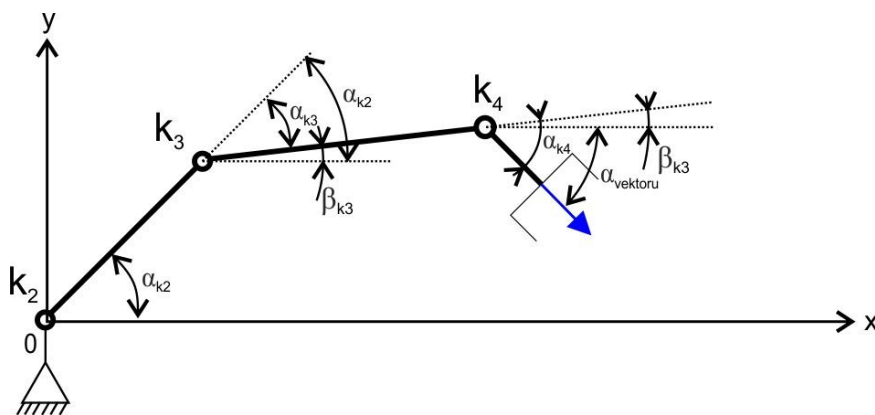


Obr. 6.7 - Získání kloubu 3 pomocí kružnic

$$k_x = \frac{1}{2 \cdot (a_{Tx}^2 + a_{Ty}^2)} \cdot [-l_2^2 \cdot m - \sqrt{-a_{Ty}^2 \cdot (l_2^4 - 2 \cdot l_2^2 \cdot l_1^2 - 2 \cdot l_2^2 \cdot a_{Tx}^2 - 2 \cdot l_2^2 \cdot a_{Ty}^2 + l_1^4 - 2 \cdot l_1^2 \cdot a_{Tx}^2 - 2 \cdot l_1^2 \cdot a_{Ty}^2 + a_{Tx}^4 + 2 \cdot a_{Tx}^2 \cdot a_{Ty}^2 + a_{Ty}^4)} + l_1^2 \cdot a_{Tx} + a_{Tx}^3 + a_{Tx} \cdot a_{Ty}^2] \quad (5)$$

$$k_y = \sqrt{l_1^2 - k_x^2} \quad (6)$$

Ted' můžeme vypočítat nastavení kloubů 2 a 3 podle rovnic (7) a (8). Zbývá jen nastavení kloubu 4, a to se vypočte podle rovnice (9) z transformovaného výsledného vektoru efektoru.



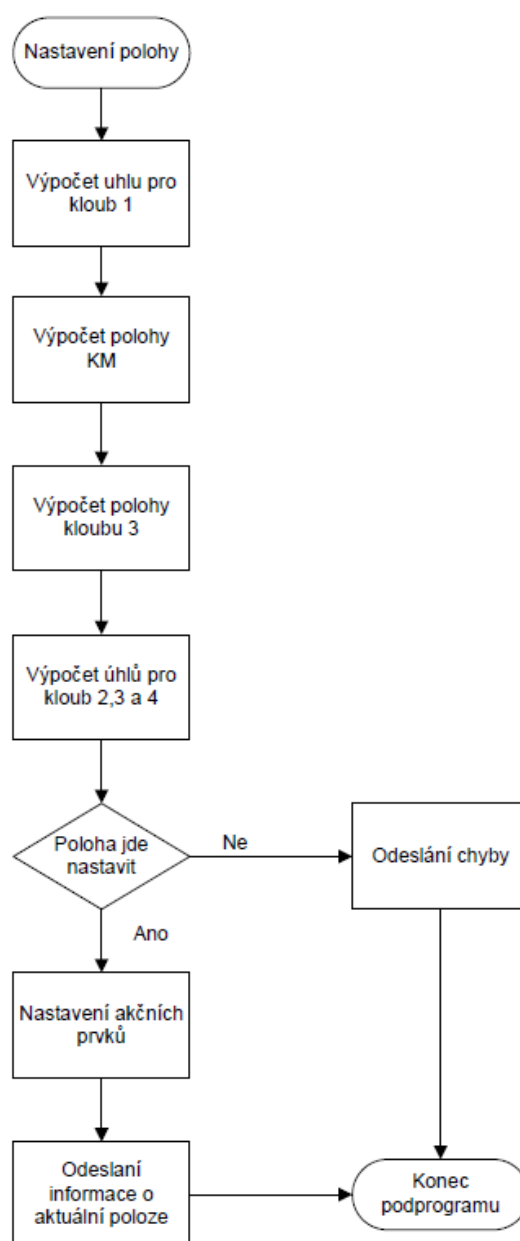
Obr. 6.8 - Schéma pro výpočet úhlů

$$\alpha_{k2} = \arctg \frac{k_y}{k_x} \quad (7)$$

$$\alpha_{k3} = \beta_{k3} - \alpha_{k2} = \arctg \frac{a_{Ty} - k_y}{a_{Tx} - k_x} - \alpha_{k2} \quad (8)$$

$$\alpha_{k4} = -\beta_{k3} + \alpha_{vektoru} = -\beta_{k3} + \arctg \frac{v_{Ty}}{v_{Tx}} \quad (9)$$

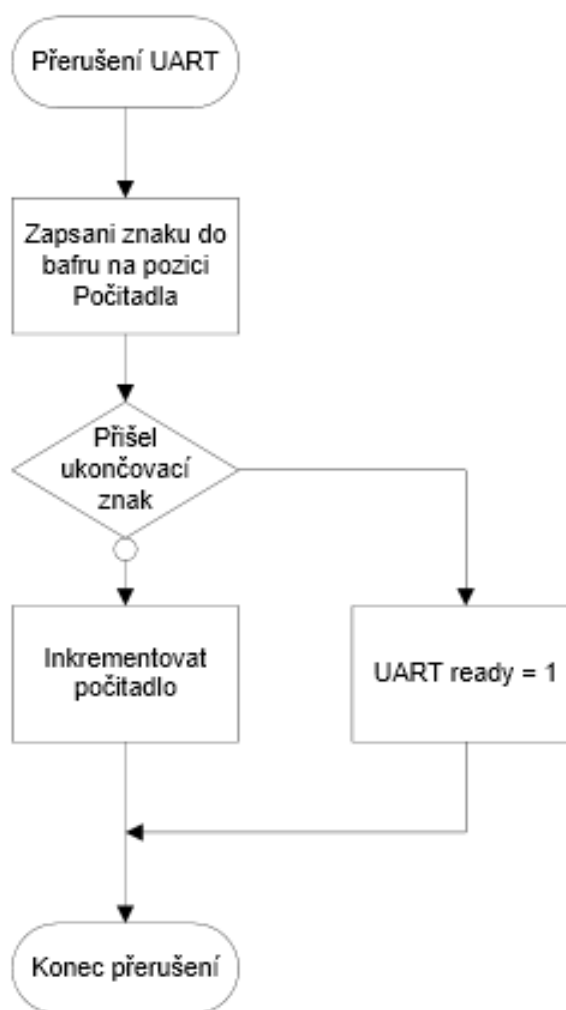
Tím jsme získali nastavení všech akčních členů pro dosažení požadované polohy a vektoru efektoru. Pokud by některý z výsledků byl mimo limity akčních členů, je taková poloha a vektor mimo dosah zařízení. Tento blok dále předává informace komunikačnímu bloku o dokončení pohybu nebo neschopnosti dosáhnout požadované polohy [SMUTNÝ 2004].



Obr. 6.9 - Algoritmus bloku Inverzní úlohy

6.4 Komunikace

Blok komunikace zprostředkovává spojení s nadřazeným prvkem. Tato komunikace probíhá přes UART a převodník FTDI, který převádí UART na virtuální RS232 na sběrnici USB. Blok komunikace se opět skládá z několika pod-bloku. Největší prioritu má blok pro příjem, ten je inicializován hardwarovým přerušením při každém příchodu bytu. Díky tomu má stejně velkou prioritu a nedochází ke ztrátě dat přepsáním dalším bytem v pořadí. Tento blok pouze zkontroluje, jestli se nejedná o byte označující konec rámce. Pokud ne, tak zapíše byte do zásobníku, na nějž směřuje ukazatel, a posune ukazatel o jedno dál. Pokud se jedná o byte označující konec rámce, označí zásobník jako připravený pro čtení.



Obr. 6.10 - Algoritmus pro příjem znaku

Další blok si cyklicky kontroluje připravenost zásobníku ke čtení. Pokud je připraven, přeloží instrukci a vykoná ji. Pokud je instrukce neplatná, oznámí to nadřazenému prvku.

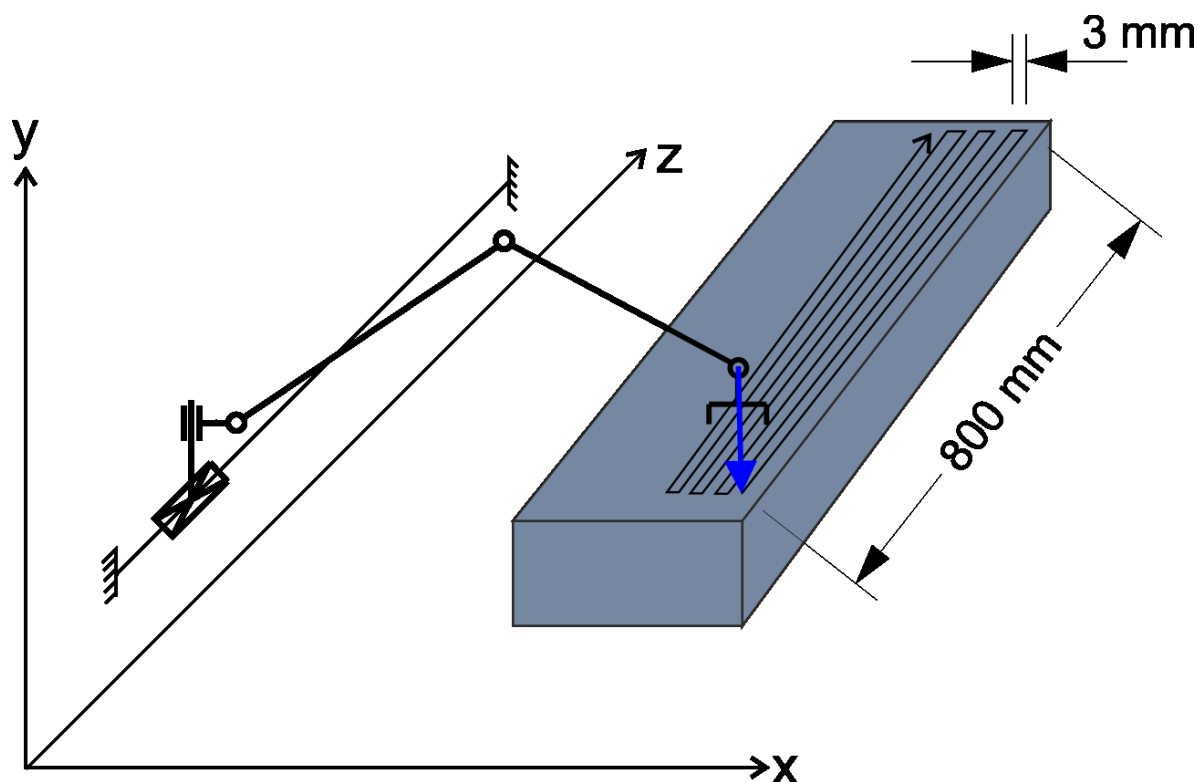
Odesílání informací nadřazenému prvku zajišťuje blok pro odesílání. Ten jako vstup bere zásobník, který postupně byte po byte odešle. Tato operace už není prioritně tak náročná jako přijímání.

7 Ověření funkčnosti

Po sestavení a naprogramování řídicího systému bylo třeba ověřit funkčnost celého systému. Při prvním spuštění se testovala funkčnost jednotlivých akčních členů upraveným programem. Program byl upravený tak, aby ovládal vždy jen jeden akční člen, tím se snížilo nebezpečí poškození zařízení v případě chyby. Teprve po otestování všech jednotlivých akčních členů byl nahrán celý program. První řízení probíhalo přímými příkazy bez použití inverzní úlohy.

7.1 Požadovaný pohyb pro skenování

Jakmile bylo otestováno a odlazeno řízení akčních členů, začala se testovat funkce bloku inverzní úlohy. Pro otestování správné funkčnosti byl navržen pohyb vhodný pro skenování laserem. Tento pohyb byl převeden do posloupnosti instrukcí, které systému předával nadřazený prvek.



Obr. 7.1 - Požadovaný pohyb pro skenování

7.2 Zhodnocení vlastností celého systému

Při testování bylo dosaženo plynulého pohybu ve směru osy z . Tento pohyb vykonává krokový motor na lineárním posuvu. Funkční vlastnosti posuvu jsou velmi dobré. Rozlišení 54 000 kroků na metr umožňuje velmi plynulý pohyb i při pomalých rychlostech, které jsou pro skenování vhodné. Také moment, který je schopný vyvinout je dostatečný,

díky tomu nedochází ke ztrátě kroku ani při delší činnosti. Problémovou částí celého zařízení je kloubové rameno. Toto rameno má několik nedostatků, hlavním z nich je malá mechanická tuhost mezi klouby. Především spojení za třetím kloubem jde snadno deformovat s výchylkou na konci ramene až několik milimetrů. Dalším nedostatkem je použití modelářských servomotoru. Tyto servomotory jsou dostatečné, pokud je rameno nezatížené. Ovšem jakmile se na konec ramen umístil měřící laser, přestane výkon motoru dostačovat. To se projevuje překmity v ustalování polohy a nepřesností polohy v ose y vlivem tíhové síly. Kombinací malé mechanické tuhosti a malého momentu servomotoru dochází k vibracím koncového bodu a je snížena jeho přesnost.

Po zjištění nedostatků systému se upravil nadřazený prvek. Ten mezi instrukce požadované polohy vkládá časové prodlevy sloužící k ustálení koncového bodu při změně polohy ramene. Dále byla snížena rychlost posuvu v ose z tak, aby koncový bod co nejméně vibroval. Výsledkem těchto úprav bylo zjištění, že systém lze využívat pro laboratorní měření povrchu. Musí však platit: hlavní pohyb vykonává posuv v ose z . a rameno je použito pouze pro pozicování v rovině xy . Kvůli tomuto pravděpodobně nepůjde skenovat složitější tvary než kvádry nebo válce.

8 Závěr

Existující zařízení bylo analyzováno hlavně z hlediska akčních členů a mechanických vlastností v oblastech zajišťujících samotný pohyb zařízení. V rámci analýzy byl sestaven model zařízení v programu CreoParametric. Na tomto modelu byly následně zjištěny pohybové možnosti zařízení, aniž by bylo reálné zařízení namáháno nebo poškozeno. Dále byly určeny a popsány jednotlivé akční členy a způsoby jejich řízení. Tato analýza byla použita při návrhu řídicího systému.

Pro zařízení byl navržen a následně implementován řídicí systém. Jako jádro řídicího systému byla navrhována a vytvořena deska plošného spoje pro mikroprocesor. Tento plošný spoj, kromě samotného mikroprocesoru obsahuje také převodník USB na UART a výstupy pro řízení akčních členů. Mikroprocesorová deska byla společně s napájecím zdrojem namontovaná do konstrukční krabice. Dále byla vytvořena kabeláž, ta kromě komunikace zajišťuje také napájení akčních členů. Zvláštní důraz byl kladen na kabeláž vedoucí k servomotorům. Tato kabeláž je z důvodu pohybu mechanického ramene po rovinném pojezdu mechanicky namáhána ohybem a vzhledem ke své délce náchylná na rušení. Proto byly jako datové kabely zvoleny koaxiální kabely s vláknovým jádrem.

Další důležitou částí řídicího systému, která byla vytvořena, je samotný program pro mikroprocesor. Ten zajišťuje komunikaci s nadřazeným prvkem, výpočet inverzní úlohy a samotné řízení akčních členů. Rovnice a algoritmus inverzní úlohy byly odvozeny na základě analýzy zařízení.

Po sestavení a odladění řídicího systému se začala testovat funkčnost celého zařízení. Při tomto testování se projevíly chyby původního zařízení. Především malá mechanická tuhost ramene a výkon servomotoru v kloubech tohoto ramene. Vlivem těchto nedostatků docházelo ke kmitání koncového bodu. Nedostatečný výkon servomotoru částečně odstranila pružina, která byla při testování na rameno umístěna. Dále byla snížena rychlost a zrychlení posunu tak, aby docházelo k co nejmenším kmitům koncového bodu. Po dodatečných úpravách hardwaru a softwaru bylo kmitání koncového bodu při definovaném pojezdu pro skenování omezeno natolik, že pro účely laboratorního měření systém vyhovuje.

Seznam použité literatury

- ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory: princip funkce, metody řízení. In: Robotika.cz [online]. 2002 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- ING. RYDLO, Pavel. KROKOVÉ MOTORY A JEJICH ŘÍZENÍ [internet]. Liberec, 2000, 15 s. [cit. 1.11.2012]. Dostupné z: <http://www.mti.tul.cz/files/ats/krok2.pdf>
- Speciální krokové motory na míru. In: Servo drive [online]. 2011 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: http://www.servo-drive.com/specialni_krokove_motory_krokove_motory_na_miru.php
- 42HS02. In: Leadshine Technology Co [online]. 2010 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: http://www.leadshine.com/Product_Show.aspx?ID=111
- M415B. In: Leadshine Technology Co [online]. 2010 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: http://www.leadshine.com/Product_Show.aspx?ID=117
- Basic Servo Motor Controlling with Microchip PIC Microcontroller. In: Ermicro - blog [online]. 2012 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: <http://www.ermicro.com/blog/?p=771>
- Hitec. Hitecrd.com [online]. 2012. vyd. 2012 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: <http://www.hitecrd.com>
- ATMEL, Corporation. Atmel. ATMEGA324P [online]. 2012. vyd. 2012 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA324P.aspx?tab=documents>
- MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
- MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR: [měření, řízení a regulace pomocí několika jednoduchých přípravků]. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 319 s. ISBN 80-730-0174-8.
- WINKLER, Zbyněk. Řízení serva: pokročilejší programování jednočipů. In: [Http://robotika.cz/](http://robotika.cz/) [online]. 2005 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://robotika.cz/guide/servo/cs>
- BABČANÍK, Jan. Začínáme s mikroprocesory Atmel AVR. In: *Hw.cz* [online]. 2006 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/zaciname-s-mikroprocesory-atmel-avr.html>
- SMUTNÝ, Vladimír. *Přímá a inverzní kinematická úloha* [Internet]. 2004, 24 s. [cit. 13.2.2013]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/ROB/roblec/serial-notecz.pdf>

Seznam Příloh

- I. Seznam Instrukcí pro práci s řídicím systémem
- II. Schéma zapojení procesorové desky
- III. Osazovací plán a maska desky plošného spoje pro procesor
- IV. DVD
 - 1 Elektronická verze práce
 - 2 Zdrojové soubory programu pro mikroprocesor
 - 3 Soubory programu EAGLE (schéma zapojení, deska plošného spoje)
 - 4 Dokumentace pro procesor ATMega 324P